DIE NATURWISSENSCHAFTEN

28. Jahrgang | 24. Mai 1940 | Heft 21

Wandlungen im Magmatismus unserer Erde.

Von HANS STILLE, Berlin[1]).

Als feurig-flüssiger Glutbrei steigt das Magma in der Erdkruste auf und erstarrt zum Gestein. Und umgekehrt kann Gestein wieder zum Glutbrei werden, wenn es durch irgendwelche Vorgänge wieder in jene Tiefenzonen gelangt, in denen es in seiner bisherigen Form nicht mehr existenzfähig ist, sondern die Aufschmelzung sich vollziehen muß. So gilt die Vorstellung, daß das Magma, das in den Vulkanen zutage kommt oder in den Tiefen der Erde zum Granit wird, „von Urzeit her" vorhanden gewesen sei, nur noch mit Einschränkungen. Denn neben jene Eruptivgesteine, die aus „primären" Magmen geworden sind, stellen sich die „palingenen", die aus der Wiederaufschmelzung von schon erstarrt gewesenen Altgesteinen hervorgegangen sind.

Wir haben unter „Magma" nicht nur den flüssigen Zustand im normalen Sinne des Wortes, den, sagen wir, „reell-flüssigen" zu verstehen, sondern auch den festen oder, besser gesagt, „potentiell-flüssigen", in dem sich die magmatischen Tiefenmassen unserer Erde unter dem hohen Druck der über ihnen lastenden Gesteinsmassen in der Hauptsache befinden müssen, der aber dem reell-flüssigen Platz macht, sobald die Belastung sich entsprechend vermindert. Über den physikalischen Zustand der Tiefenmassen erfahren wir einiges durch die Erdbebenwellen, die, wie E. WIECHERT einst gesagt hat, für den Erdkörper eine ähnliche Rolle spielen, wie die Röntgenstrahlen für den menschlichen Körper. Sie scheinen uns zu besagen, daß bis 2900 km Tiefe unsere Erde außer von longitudinalen auch von transversalen Wellen durchschritten wird, d. h. von solchen, die nur in „festen" Körpern oder ganz hochviskosen Flüssigkeiten möglich sind. Erst in 2900 km Tiefe beginnt — nach dem heutigen Stande des Wissens — ein innerster Erdkern, der nur noch für longitudinale Wellen durchdringbar ist und sich demnach in einer Art reell-flüssigem Zustand befinden muß.

Für unsere magmato-tektonischen Betrachtungen teilen wir die Stoffe in zwei große Gruppen unter Benutzung von Ausdrücken ein, die E. SUESS seinerzeit in die Wissenschaft eingeführt hat, nämlich in *Sial* und *Sima*. Das Sial (Vorherrschaft Si-Al) umfaßt die mehr sauren und dabei spezifisch leichteren Gesteine, das Sima (Vorherrschaft Si-Mg) die mehr basischen und dabei um etwa 10% schwereren. Die typischen Vertreter des Sials sind der Granit und der Gneis; zu ihm gehört auch die große Gruppe der Sedimentgesteine, deren durchschnittliche Zusammensetzung etwa derjenigen des Granits gleichkommt. Der typische Vertreter des Simas ist der Basalt.

Es ist selbstverständlich, daß infolge der gravitativen Sonderung der Massen im Schwerefelde der Erde das Sial die äußere Schale (Granitschale), das Sima die innere (Basaltschale) des irdischen Silikatmantels bildet. Die Schmelzpunkte unserer Eruptivgesteine liegen im allgemeinen etwa zwischen 1000 und 1250°, und die basischen (simischen) erscheinen als die leichter schmelzbaren im Vergleich mit den mehr sauren (sialischen). Jedenfalls gilt das, wenn wir unsere Untersuchungen an den „toten" Gesteinen ausführen, die wir dem Erdboden entnehmen. Aber anders ist die Sachlage, wenn der Schmelzfluß noch mit den flüchtigen Stoffen (H_2O, CO_2, Cl, F usw.) beladen ist, die als Flußmittel wirken und die Schmelztemperaturen enorm herabsetzen. Diese flüchtigen Stoffe sind aber in ganz besonderem Maße in den sauren Magmen enthalten, und aus solchen Überlegungen heraus und auf Grund neuerer experimenteller Untersuchungen ist es sehr wohl vorstellbar, ja sogar wahrscheinlich, daß die Schmelzpunkte der sauren Magmen normalerweise erheblich tiefer liegen als diejenigen der basischen — vielleicht schon bei Temperaturen von nur 600—700°.

Diese Temperaturen würden bei schon rd. 20 bis 30 km Tiefe erreicht sein, wenn die Wärmezunahme anhielte, wie wir sie aus den obersten 2000—3000 m der Erde aus Tiefbohrungen kennen (rd. 3° auf 100 m). Aber nach mancherlei Überlegungen muß der Temperaturgradient nach der Tiefe zu enorm abnehmen, und so ist durchaus vorstellbar, daß das Sial normalerweise in seiner ganzen Dicke, die wir unter unseren Kontinenten mit etwa 40—50 km annehmen mögen, noch oberhalb seines Schmelzbereiches liegt. Demgegenüber muß das in recht große Tiefen und damit weit unter sein Schmelzniveau hinabreichende Sima so ziemlich überall unter der Erde in „magmatischer" Form vorhanden sein, einerlei in welchen Tiefen.

Wir dürfen von der Überlegung ausgehen, daß dann, wenn sowohl Sial wie Sima in magmatischer Form da sind und dabei entsprechend der gravitativen Sonderung das leichtere Sial über dem schweren Sima schwimmen muß, das Sial auch in erster Linie zum Aufstieg kommen würde. In diesem Sinne spricht z. B., daß, wie wir weiter sehen werden, unter bestimmten Verhältnissen nur sialische Schmelzflüsse aufsteigen, obwohl auch simische in der Tiefe vorhanden gewesen sein müssen. Die Umkehrung würde besagen, daß,

[1]) Ein Teil der nachstehend behandelten Verhältnisse erfährt eine etwas ausführlichere Darstellung in den Abh. preuß. Akad. Wiss., Physik.-naturwiss. Kl. 1939, Nr 19 (Berlin 1940).

wenn in weiteren Räumen durch lange Zeiten hindurch kein Sial aufsteigt, sondern nur Sima, dann auch kein Sial in mobiler Form vorhanden war.

Der Magmatismus zerfällt in den in den Erdtiefen sich abspielenden und die Tiefengesteine („Plutonite") von granitischer Art liefernden Plutonismus und den die Oberflächengesteine („Vulkanite") schaffenden Vulkanismus, und es ist nun eine sich immer wieder bestätigende Erfahrung, daß der Plutonismus an die großen revolutionären (orogenen) Phasen der Erdgeschichte gebunden ist, die als mehr kurzfristige Ereignisse die durch rein epirogene Vorgänge charakterisierten langen anorogenen Zeiten unterbrechen, während der Vulkanismus die anorogenen Zeiten stark bevorzugt. In diesem Sinne sind also unsere Granite „synorogene" Gebilde, und zwar entweder *hoch*orogene, d. h. schon im Höhepunkt der gebirgsbildenden Vorgänge aufgedrungen und in diese Vorgänge, häufig gneisartige Strukturen annehmend, noch kräftigst einbezogen, oder *spät*orogene, d. h. aufgestiegen, als die Orogenese schon fast verklungen war. Weshalb gerade letzterer Fall so häufig vorliegt, wird uns weiterhin erklärlich werden.

Die zeitliche Gebundenheit des Plutonismus an die orogenen Phasen, die grundsätzlich wohl kaum noch bestritten, wenn oft auch nicht in dem ihr zukommenden Umfange zugegeben wird, erklärt sich im Zusammenhang mit der Frage der Platznahme („mise en place") der Granite. Denn das Magma hat die tiefsitzenden Hohlräume, in denen es dann zum Granit erstarren konnte, nicht etwa fertig vorgefunden, und auch die Vorstellung, daß es sich seinen Platz allein durch Aufschmelzung der Nebengesteine geschaffen habe, ist nicht haltbar. Vielmehr müssen sich die Räume, die das Magma aufnahmen, erst etwa gleichzeitig mit dem Magmaaufstieg geöffnet haben. Es müssen also zur Raumschaffung, als der Vorbedingung für das Entstehen granitischer Plutone, erhebliche dynamische Kräfte verfügbar gewesen sein, und solche sind eben in den kurzen orogenen Phasen der Erdtektonik im Gegensatz zu den langen anorogenen Zeiten gegeben. In ihnen war aber wohl der Magmenaufstieg *bis zur Oberfläche* infolge der Kompression in den sich faltenden Gesteinsmassen recht erschwert.

Wir haben eben ein Beispiel dafür kennengelernt, daß bestimmte Erscheinungsweisen des Magmas an bestimmte geotektonische Zustände gebunden sind, und wir betrachten nunmehr, wie sich ganz allgemein der Magmatismus den geotektonischen Verhältnissen einfügt (s. Tabelle 1).

Wir gehen von der normalen Reihenfolge der geotektonischen Ereignisse in einem ein Gebirgssystem produzierenden Raum aus. Der geotektonische Zyklus beginnt mit der Einsenkung einer Geosynklinale als des Muttertroges, aus dem das spätere Faltengebirge hervorgeht. Sie vollzieht sich in unendlich langen Perioden, und Zeugnis davon geben die im Laufe dieser Perioden abgesetzten sehr mächtigen Schichtsysteme. Auf die Geosynklinalzeit folgen die „revolutionären" orogenen Ereignisse, bei denen die in den Geosynklinalen entstandenen Gesteine gefaltet und damit, im allgemeinen unter Zutritt magmatischer Massen, zu den Gebirgen zusammengestaucht werden. Durch solche Faltungsvorgänge wird der vorher faltbar („mobil") gewesene Untergrund versteift, sei es schon in einem einzigen orogenen Akt, sei es in mehreren Einzelakten, die durch abermalige Geosynklinalphasen (Phasen des Sinkens) unterbrochen zu sein pflegen. Der auf solche Weise zustande kommende versteifte („kratonische") Zustand schließt weitere stärkere („alpinotype") Faltungen aus. „Kratonisch" ist also als der Erdzustand zu definieren, in dem es nicht mehr zu alpinotypen, sondern höchstens noch zu „germanotypen" orogenen Umformungen kommen kann, d. h. höchstens noch zu schwachen Faltungen und zu Schollenverschiebungen an Verwerfungen. Innerhalb des „kratonischen" Zustandes ist aber noch eine an die mobilen Verhältnisse der Geosynklinalzeit sich zunächst anschließende „quasikratonische" Anfangsphase zu unterscheiden, die später durch die „vollkratonische" abgelöst wird.

Tabelle 1.

Geotektonische Normalfolge	*Magmatologische Normalfolge*	
1. Geosynklinaler Zustand .	simischer (initialer) Magmatismus	
2. Orogenese	synorogener Plutonismus	sialisch
3. Quasikratonischer Zustand	subsequenter Vulkanismus	sialisch
4. Vollkratonischer Zustand .	simischer (finaler) Vulkanismus	

Der vollkratonische Zustand ist im allgemeinen der endgültige, dem die Erdentwicklung in den ehemals mobilen Räumen zustrebt. Er ist in weiten Erdgebieten schon im Laufe der „Urzeit" erzielt worden, in anderen aber erst später, und manche Erdzonen besitzen ihn heute noch nicht. Oft genug sind aber auch Gebiete, die schon in den kratonischen oder wenigstens in den quasikratonischen Zustand gekommen waren, in dem Sinne „regeneriert" worden, daß sich erneut der geosynklinale Zustand einstellte und sich damit ein neuer geotektonischer Ablauf einleitete. Das ist z. B. in den Räumen unserer jungen Hochgebirge der Fall gewesen, die in gleicher Weise wie die nördlich von ihnen liegenden außeralpidischen Gebiete einst durch die jungpaläozoischen Faltungen konsolidiert worden waren, aber trotzdem etwa von der Triaszeit an erneut geosynklinale Zustände aufwiesen, die die alpidische Gebirgsbildung einleiteten.

Der chronologischen Gliederung der geotektonischen Ereignisse innerhalb einer Erdära ist in Tabelle 1 diejenige der magmatischen Ereignisse gegenübergestellt.

Der magmatische Normalzyklus beginnt mit den die Geosynklinalzeit charakterisierenden

„initialen" Magmatiten, die ganz überwiegend von *simischer* Art sind und in dieser Form als die „ophiolithischen" bezeichnet werden. Es handelt sich um (zumeist submarine) Ergüsse und deren Tuffe, daneben aber auch um Intrusionen, die in flachen Gesteinstiefen steckengeblieben sind. Die Mächtigkeiten dieser initialen Vulkanite können ganz enorm sein, oft viel größer als die der sedimentären Massen, denen sie zwischengeschaltet sind.

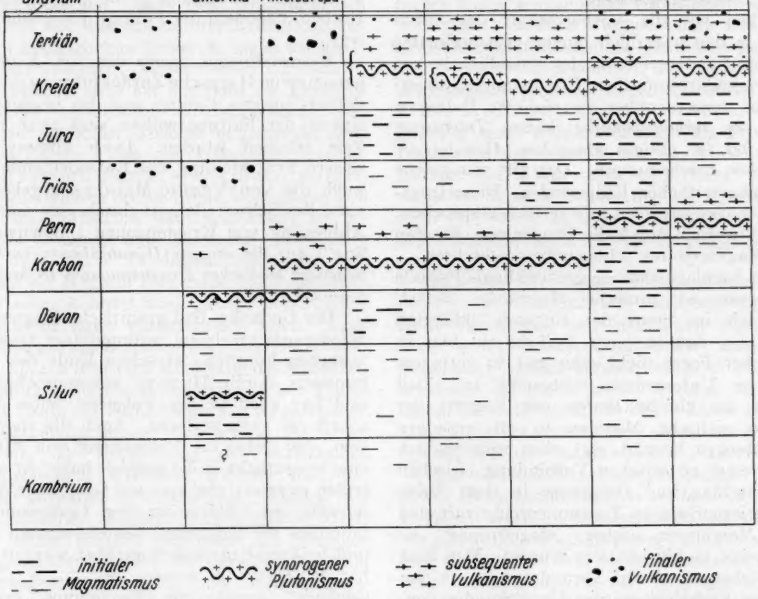
Geradezu schlagartig pflegt der überwiegend simische Magmatismus der geosynklinalen Zeiten vom *sialischen Plutonismus der orogenen Phasen* abgelöst zu werden. Dieses schlagartige Einsetzen wie auch die Kurzfristigkeit der plutonischen Intrusionen entsprechen dem schlagartigen Einsetzen und der Kurzfristigkeit der Orogenesen. Immerhin mag man sich die „Kurzfristigkeit" etwa in der Größenordnung von einigen Jahrhunderttausenden vorstellen.

Mit den Orogenesen ist zwar die *intrusive* Form des sialischen Magmatismus — dieses vorbehaltlich etwaiger Wiederholungen in später noch folgenden orogenen Phasen — beendigt, nicht aber der sialische Magmatismus *in seiner Gesamtheit.* Vielmehr pflegt sich an den intrusiven sialischen Plutonismus ein „subsequenter" sialischer Vulkanismus anzuschließen. Die Bezeichnung *„subsequent"* soll erstens das rein zeitliche Verhältnis zu den sialischen Gesteinen der Plutone, aber zweitens auch zum Ausdruck bringen, daß der sialische Vulkanismus zum vorangegangenen Plutonismus in genetischen Beziehungen steht, die vielfach schon aus der chemischen Blutsverwandtschaft der Gesteine ersichtlich sind.

Der subsequente sialische Vulkanismus hält eine gewisse Zeit an. Er charakterisiert den „quasikratonischen" Zustand, den wir also magmatotektonisch zu definieren haben als einen solchen, in dem zwar die tektonischen Ereignisse schon „germanotyp" ablaufen, hinsichtlich des Magmatismus aber noch die „alpinotypen" Verhältnisse ausklingen. Demgegenüber ist der *vollkratonische* Zustand wieder durch das Obwalten des simischen Vulkanismus charakterisiert, und hierher gehören die großartigsten und ausgedehntesten vulkanischen Ereignisse, die überhaupt in der Erdgeschichte vorgekommen sind.

Diesen simischen Vulkanismus, der mit den Endstadien der geotektonischen Zyklen zusammenfällt, bezeichne ich im Gegensatz zu dem „initialen" von simischer Art, der die orogenen Zyklen einleitet, als den *„finalen"*.

Tabelle 2. Der Ablauf des Magmatismus in einigen Erdgebieten.



Es ist ohne weiteres erklärlich, daß gleichzeitig in benachbarten Räumen der sialische und der simische Vulkanismus auftreten können, sofern sich eben der eine Raum noch im quasikratonischen,

der andere aber bereits im vollkratonischen Zustand befindet.

In Tabelle 2 sind die magmatischen Ereignisse einiger wichtiger Erdgebiete in ihrer Einordnung in das Formationsschema dargestellt. Im Falle *a* handelt es sich um ein Gebiet, das seit ganz langen Zeiten konsolidiert ist und dementsprechend in jüngeren Perioden nur den „finalen" basaltischen Vulkanismus aufweist. In *b* ist ein Gebiet veranschaulicht, in dem mehrere starke Faltungen gewirkt haben, bis die endgültige Konsolidation zustande kam, die magmatologisch in den finalen Vulkaniten von triadischem Alter ihren Ausdruck findet. In den Fällen *c—h* hat sich an die variszischen Faltungen von zum Zeil karbonischem und zum Teil erst permischem Alter, die von starkem synorogenen Plutonismus begleitet gewesen sind, der subsequente sialische Vulkanismus von permischen und zum Teil auch noch triadischem Alter angeschlossen. Im Falle *c* (Mitteleuropa) ist mit der variszischen Faltung die endgültige Konsolidation herbeigeführt, so daß in der weiteren Entwicklung nur noch finale Vulkanite auftreten. Demgegenüber geben die Fälle *d—h* Beispiele aus unseren jungen Faltengebirgen dafür, daß sich nach der variszischen Ära und dem an diese sich anschließenden subsequenten Vulkanismus ein neuer geotektonischer und damit auch ein neuer magmatischer Zyklus eingeleitet hat. In dem neuen magmatischen Zyklus erkennen wir den normalen Ablauf von den initialen Eruptiven (Trias, Jura, zum Teil auch noch Kreide) über die synorogenen Plutone zu den subsequenten sialischen Vulkaniten, und zum Teil kündigt sich sogar schon das finale basaltische Stadium an.

Bedenken wir die Vorherrschaft des Simas einerseits in den unendlich langen geosynklinalen Perioden und andererseits in den unendlich langen Zeiten des vollkratonischen Erdzustandes, so erscheint uns demgegenüber *der sialische Vulkanismus* als *ein verhältnismäßig kurzes Intermezzo innerhalb des im übrigen simischen Ablaufes der magmatischen Erscheinungen*. Das gilt wenigstens für die *nach*urzeitlichen Erdperioden. Diese Intermezzos sind also, zunächst rein zeitlich gesprochen, inauguriert worden durch die Orogenesen, die den initialen Magmatismus schlagartig auslöschten.

Aus der Sachlage, daß die geosynklinale Periode ganz überwiegend simische Magmatite liefert, schließen wir im Sinne der eingangs geführten Überlegungen, daß in jener Periode ein Sial in magmatischer Form nicht oder nur in geringem Umfange im Untergrunde vorhanden ist. Daß dann aber der gleiche Boden mit Eintritt der Orogenesen sialische Magmen in oft geradezu enormen Mengen hergibt, legt ohne weiteres den Gedanken einer genetischen Verbindung zwischen Magmenumschlag und Orogenese in dem Sinne nahe, daß irgendwie in Zusammenhang mit den orogenen Vorgängen vorher „eingefrorene" sialische Massen mobilisiert sein müssen. Man mag dabei zunächst an allerlei Veränderungen in den thermischen Verhältnissen des Untergrundes denken, wie an Wärmeströmungen oder an Wärmeerzeugungen infolge der mechanischen Kompressionen beim Faltungsakt. Aber weit mehr drängt sich ein anderer Gedanke auf, der in der Literatur auch schon durch KOSSMAT und v. BUBNOFF[1]) ausgesprochen worden ist. Daß der Untergrund unserer Gebirge relativ leicht ist, wie sich schon seit vielen Jahrzehnten aus der Untersuchung der Schwereverhältnisse unserer Erde ergeben hat, besagt, daß das leichte Sial unter den Gebirgen in weit größere Tiefen hinabreicht als unter den großen Erddepressionen, in deren Bereiche positive Schwereanomalien zu herrschen pflegen. So kommt man mit ALB. HEIM zu der Vorstellung, daß unsere Faltengebirge eine breite und tiefe sialische „Wurzelzone" besitzen, die tief in das schwerere simische Substrat eingesenkt ist. *Sie ist ein Ergebnis der Faltung.* Denn die durch die Faltung zusammengeschobenen Gesteinsmassen müssen ja entsprechend der Verringerung ihres Breitenraumes in der Vertikalen anwachsen, und das muß sich im Sinne unserer erdisostatischen Vorstellungen in einem nicht unerheblichen Einsinken der gefalteten Massen auswirken. Damit ergibt sich eine im Zeitpunkt der Orogenesen und im Zusammenhang mit diesen sich ereignende Versenkung von Gesteinsmassen von überwiegend sialischer Art in heißere Tiefen, in denen die Aufschmelzung sich vollziehen kann. Nun wird auch verständlich, weshalb ein großer Teil des synorogenen Plutonismus nicht schon in der Hochphase der Gebirgsbildung, sondern erst an derem Ende einzutreten pflegt. Konnte doch die magmaschaffende Absenkung größere Ausmaße erst erreichen, nachdem der Faltenwulst gebildet worden war.

Einwendungen gegen die von KOSSMAT aufgenommene HEIMsche Zurückführung des Schweredefizits unserer Gebirge auf das isostatische Einsinken der Faltungswülste sind zwar in neuerer Zeit erhoben worden. Doch kommt, was für unsere Fragestellung das Entscheidende ist, z. B. auch die von VENING-MEINEHS gegebene Erklärung des Schweredefizits durch eine einfache tiefe Abbiegung von Krustenzonen („downward buckling") auf die *orogene Hinabführung vorher höherliegender sialischer Krustenmassen in heiße Tiefenbereiche* hinaus.

Der Gedanke, daß granitische Magmen aus der Wiederaufschmelzung sedimentärer Gesteine hervorgehen könnten, ist schon Ende des 18. Jahrhunderts durch HUTTON ausgesprochen worden und hat auch in der Folgezeit seine Anhängerschaft nie ganz verloren. Auch die spezielle Version, daß dabei die Versenkung von Altgesteinen eine wesentliche Rolle gespielt habe, ist schon vertreten gewesen, ehe man auf Grundlage der Unterschwere der Gebirge zu dem Gedanken des Abtauchens der gefalteten Gesteinsmassen in tiefere und heißere Erdsphären geführt worden war. So hat E. HAUG in seinem bekannten „Traité de Géologie" (1907) die Entstehung granitischer Schmelzflüsse in den Tiefen der Geosynklinalen als Folge allein schon der geosynklinalen Absenkungen

[1]) Vgl. z. B. Naturwiss. **1937**, 597.

deuten wollen. Aber dann müßten sialische Gesteine in ganz anderem Umfange, als zutrifft, schon in der Bildungszeit der Geosynklinalen aufgetreten sein, während wir aus dieser eigentlich nur simische kennen; und auch die Plötzlichkeit des simisch-sialischen Umschlages gerade im Zeitpunkt der Orogenese bliebe unverständlich. Es scheint also, daß auch die beträchtlichsten geosynklinalen Versenkungen, d. h. solche von selbst 20—25 km Ausmaß, noch nicht genügt haben, um das feste Sial der Erdkruste in die Schmelzbereiche zu bringen, sondern daß hierzu noch erheblich stärkere Versenkungen von anderer Art nötig gewesen sind.

Der Granit hat einst als das „Urgestein" der Erde gegolten. Seine Ehrwürdigkeit in diesem Sinne ist GOETHE zum Bewußtsein gekommen, als er den Granit von Karlsbad zu seinen Füßen hatte. Aber zunächst ist dem Granit schon die Ehrwürdigkeit des Alters in erheblichem Maße genommen worden, indem man immer mehr erkannte, daß es auch Granite aus jungen Erdperioden gibt. Und nun erscheint uns ein erheblicher Teil der Granite nicht einmal mehr als „juvenile" Primärgebilde, sondern als der im Feuer geläuterte Schutt, der sich einst in tiefen Erddepressionen gesammelt hatte.

Die eben entwickelten Beziehungen zwischen den geotektonischen und den magmatischen Zyklen haben sich aus den unserer Erkenntnis besonders gut zugänglichen jüngeren, sagen wir kurzhin „nachurzeitlichen", Verhältnissen ergeben.

Nachdrücklich hebe ich nunmehr als Ergebnis vergleichender historischer Erdbetrachtung den *Rückgang der sialischen Magmen im Laufe der Erdentwicklung* hervor. Das sog. Urgebirge (Archaikum) ist so ziemlich überall, soweit in den heutigen Kontinentalbereichen beobachtbar, hochgradig von sialischen magmatischen Gesteinsmassen, so besonders von Graniten und Gesteinen granitischer Abkunft, durchsetzt. In diesem Sinne hat sich DALY schon vor längerer Zeit dahin ausgesprochen, daß etwa neun Zehntel aller zutage kommenden Granite unserer Erde vorkambrisch seien. Aber wir brauchen gar nicht bis auf die Urzeiten zurückzugreifen, um ein Bild vom Rückgang des sialischen Magmatismus und speziell des granitischen Plutonismus im Laufe der Erdentwicklung zu gewinnen. Sondern es genügt schon, daß wir, z. B. in der Alten Welt, die Verbreitung der variszischen (jungpaläozoischen) sialischen Plutone mit derjenigen der alpidischen vergleichen. Finden wir doch die sialischen Magmatite variszischen Alters noch in recht weiten Regionen des heutigen Eurasiens, während solche von alpidischem Alter nur in geringem Umfange da sind. Man mag einwenden, daß die alpidischen Faltungszonen noch nicht bis zu den gleichen Tiefen denudiert sind wie die variszischen und die noch älteren, und daß bei ihrer weiteren Abtragung sich erheblich mehr plutonische Massen zeigen würden. Aber demgegenüber bleibt zu bedenken, daß allein schon die Räume, in denen wir die sialischen Intrusionen überhaupt erwarten können, nämlich die Räume der Faltung, in der alpidischen Ära, verglichen mit der variszischen, ungemein eingeengt sind. Umgekehrt sehen wir, wie sich die Herrschaft des Simas immer mehr in Gebiete hinein ausdehnt, in denen vorher ein überwiegend sialischer Magmatismus noch obgewaltet hatte. Selbst schon in den jüngsten Faltungszonen unserer Erde, den letzten Refugien des sialischen Magmatismus, beginnt dieser immer mehr an Raum gegenüber dem simischen zu verlieren. So hat der simische in den nordamerikanischen Kordilleren (Tabelle 2, *g*) heute schon auf der ganzen Linie gegenüber dem sialischen gesiegt; und wenn sich im Gegensatz dazu der sialische in größeren Teilen der südamerikanischen Kordilleren (Tabelle 2, *h*) noch einigermaßen gegenüber dem simischen behauptet, so hängt das wohl damit zusammen, daß hier die den sialischen Vulkanismus einleitende Hauptfaltung erst erheblich später als in Nordamerika eingetreten war. Es hat sich also auch im Ausgang der letzten großen Faltungsära bis in die Gegenwart hinein die Tendenz noch fortgesetzt, die in Bezug auf die Zurückdrängung des sialischen Magmatismus immer schon geherrscht hatte. Das hängt damit zusammen, daß die kratonischen Gebiete, in denen nur noch ein simischer Vulkanismus stattfinden kann, immer mehr auf Kosten der mobilen und zum sialischen Magmatismus noch fähigen Erdzonen an Ausdehnung gewonnen haben.

Wir haben anzunehmen, daß sialische Magmen ursprünglich ziemlich allgemein unter der Erdkruste in Überdeckung der simischen vorhanden gewesen sind, wohl entstanden als Produkte der Differentiation eines Urmagmas von etwa basaltischer Art. War aber „juveniles" (primäres) sialisches Magma reichlichst noch verfügbar, so muß es auch in höherem Umfange als das unter ihm liegende und schwerere simische Magma eruptiv geworden sein.

Daß aber im Laufe der Zeiten eine Änderung eingetreten ist, indem das sialische Magma immer mehr zurücktrat und schließlich eigentlich nur noch unter Sonderverhältnissen wieder einmal mobilisiert werden konnte, ist wohl kaum anders erklärbar als durch eine Zunahme der Krustendicke, die naturgemäß in erster Linie das sialische Magma als das leichtere und damit höhere ergreifen mußte, ihm den magmatischen Zustand raubend.

Aus unseren Überlegungen heraus haben wir in der Hauptsache *zweierlei sialische Magmen* ihrer Herkunft nach zu unterscheiden, nämlich erstens die primären, die *„hypogenen"*, als die sauren Differentiationsprodukte eines Urmagmas, und zweitens die sekundären, die *„lithogenen"*, hervorgegangen aus der Wiederaufschmelzung schon erstarrt gewesener Altgesteine, unter denen auch Sedimente eine große Rolle gespielt haben. Dem Zurücktreten der hypogenen sialischen Magmen gegenüber den lithogenen dürfte auch entsprechen, daß aus den alten Zeiten der Erde in sehr erheb-

lichem Umfange die „echten" Granite vorliegen, während in jüngeren Zeiten, wie wieder schon DALY gezeigt hat, unter den granitischen Gesteinen solche Typen (Granodiorite, Quarzdiorite usw.) vorherrschen, die wir in erster Linie als regenerierte Altgesteine anzusprechen haben.

Demgegenüber dürften die *simischen Magmen* nicht nur in den Urzeiten, sondern überhaupt zu einem wesentlichen Teile *hypogener* Abkunft sein. Auch die große Gleichmäßigkeit gewaltig mächtiger basaltischer Massen über ungeheuer weite Gebiete spricht dafür, daß sie aus wenig differentiierten Tiefenmagmen hervorgegangen sind. Beispiele für simische Magmen *lithogener* Abkunft sind in basischen Differentiationsprodukten der in der Hauptsache die sialischen Gesteine liefernden reaktivierten Schmelzflüsse gegeben.

Die eben entwickelte Vorstellung von der Entstehung granitischer Schmelzflüsse schließt natürlich keineswegs aus, daß sich granitische Gesteine auch auf den als „Granitisierung" oder „Migmatisierung" bezeichneten Wegen, nämlich durch Zuführung heißer saurer Differentiationsprodukte des Tiefenmagmas zu den Altgesteinen der Erdkruste, bilden könnten. Im Gegenteil scheint auch die Granitisation eine weitverbreitete Erscheinung zu sein. Aber sie schafft nicht eigentlich „Magmen", d. h. Schmelzflüsse, sondern sie verändert einen Altbestand, ohne daß Aufschmelzung einzutreten brauchte. Im Falle des Migmatismus geht also die Wärme, getragen von heißen Schmelzlösungen, aufwärts zum Altgestein. Im Falle der synorogenen Magmabildung steigt das Altgestein zur Wärme hinab.

Wir haben von Wandlungen des Magmatismus gesprochen, die sich *innerhalb einer geotektonischen Ära* vollziehen. Ihnen noch übergeordnet ist die große Linie in der *Gesamtentwicklung des irdischen Magmatismus*, die hinauskommt auf das Zurücktreten der sialischen Magmen. In diesem Sinne haben wir eine „ältere" und eine „jüngere" Zeit unterschieden. Die *ältere* Zeit ist durch die große Verbreitung der sialischen Magmengesteine charakterisiert. Diese dürften zu einem recht erheblichen Teile noch von hypogenem Ursprung gewesen sein, wenn es gewiß auch schon damals an lithogenen Magmatiten nicht gefehlt hat. Dieser älteren Zeit steht die *jüngere* gegenüber, in der das Sial in den weitesten Gebieten schon gänzlich fehlte und nur unter Sonderverhältnissen, nämlich im Zusammenhang mit den Orogenesen, in immer beschränkter werdenden Räumen noch mobilisiert werden konnte.

Aber wenn wir weiter bedenken, wie eng schon in der letzten der großen Erdären die Räume nur noch gewesen sind, in denen sich sialische Magmen noch einstellen konnten, und wenn wir dazu noch erkennen müssen, daß selbst in diese engen Räume sich der simische Magmatismus schon immer mehr auf Kosten des sialischen vorschiebt, ja in manchen Teilen den sialischen schon verdrängt hat, so mag uns der Gedanke kommen, daß wir nicht mehr so ganz fern von einer *jüngsten* Zeit sind, in der es einen sialischen Magmatismus kaum noch geben wird, sondern eigentlich nur noch den simischen.

Das ganze Wandlungsbild des Magmatismus entspricht der aus geotektonischen Betrachtungen ersichtlichen Zunahme der Versteifung unserer Erdkruste im Ablauf der geologischen Zeiten.

Daß sich das Sial im Laufe der Erdentwicklung immer weniger an den magmatischen Geschehnissen beteiligt hat, kann doch nur besagen, daß es in immer abnehmendem Maße in aufstiegfähiger Form noch vorhanden war, d. h. immer mehr in der oberhalb seines Schmelzniveaus liegenden Kruste unter entsprechender Verdickung dieser festgelegt worden ist. Die Erklärung hierfür ist aber kaum anders als durch eine fortschreitende Tieferverlagerung der Schmelzbereiche im Zusammenhang mit der fortschreitenden Abkühlung unserer Erde zu geben. So kommen wir auch auf diesem Wege zu der Vorstellung, daß die Wärmebilanz unserer Erde negativ in dem Sinne ist, daß für die großen Wärmeabgänge infolge Wärmeausstrahlung keine ausreichenden Kompensationen bestehen und daß speziell auch der Wärmegewinn infolge des Zerfalls der radioaktiven Substanzen die Abkühlung unserer Erde nicht verhindern, sondern nur verzögern kann.

Unsere Erde altert, sie wird immer kälter und immer starrer, — das ist es, was wir, glaube ich, auch aus der Entwicklung herauszulesen haben, die der irdische Magmatismus im Laufe der geologischen Zeiten genommen hat.

Muskelphysiologie vom Standpunkt der kinetischen Theorie der Hochelastizität und der Entspannungshypothese des Kontraktionsmechanismus.

Von EDGAR WÖHLISCH, Würzburg.

[Schluß*).]

IV. Das Problem des Mechanismus der Muskelkontraktion.

Wenn, wie soeben gezeigt wurde, der Skelettmuskel schon im ungedehnten Zustand sich thermoelastisch-anomal verhält und daher als ein mit statistisch-kinetischer Elastizität begabtes System aufzufassen ist, müssen die geordneten Anteile seiner Myosinstrukturen die thermokinetische Tendenz zu weiterer Verkürzung in sich tragen, daran aber offenbar im ruhenden Muskel durch eine Gegenwirkung verhindert werden. Es ergibt sich somit nahezu zwangläufig die wichtige *Fragestellung, ob nicht vielleicht die Muskelkontraktion, d. h. die Verkürzung des Muskels durch natür-*

*) Vgl. H. 20, S. 305.

liche oder künstliche zu einer Erregung führende Reize, auf eine Auswirkung dieser elastischen Verkürzungstendenz der Myosinketten zurückzuführen ist. Es ist dies eine Auffassung des Kontraktionsvorganges, die erstmalig von BETHE (44) im Jahre 1911 (vgl. S. 334/335 der angeführten Arbeit) auf Grund ganz andersartiger Überlegungen geäußert wurde:

„Man müßte dann die Kontraktion als einen durch die auftretenden Spaltungsprodukte ausgelösten Entspannungsprozeß ansehen (ähnlich der Zusammenziehung einer vorher gespannten Feder), während bei der Expansion durch die Oxydation der Spaltungsprodukte (oder eine andere unter Energieabgabe verlaufende Veränderung derselben) die kontraktilen Teile wieder aufgeladen würden, indem zugleich ein Teil der freiwerdenden Energie nach außen als Wärme aufträte."

Die Muskelkontraktion wäre nach dieser Hypothese nichts anderes als eine über die Ruhelänge des Muskels hinausgehende Fortsetzung des Verkürzungsvorganges, den ein gedehnter ruhender Muskel nach Aufhebung der dehnenden Kraft ausführt. Wir wollen diese BETHEsche Auffassung des Kontraktionsmechanismus im folgenden kurz als die *„Entspannungshypothese"* der Muskelkontraktion bezeichnen. Sie steht in Gegensatz zu allen jenen zahlreichen Kontraktionstheorien, welche annehmen, daß es erst durch die Erregung zum Auftreten von Verkürzungskräften an den im Ruhezustand entspannten kontraktilen Elementen des Muskels komme. Hierher gehören z. B. die Säurequellungstheorien [vgl. O. FÜRTH (45)], die Gelatinierungstheorie von HILL (46) oder die Theorie der elektrostatischen Anziehung von K. H. MEYER (47), die indes heute sämtlich nur noch historisches Interesse haben, da sie von der erwiesenermaßen [vgl. z. B. BETHE (48)] nicht zutreffenden Voraussetzung ausgehen, daß die Muskelkontraktion letzten Endes durch das Auftreten von Milchsäure im Muskel ausgelöst werde. Kontraktionshypothesen auf dem Boden der Entspannungshypothese wurden von PÜTTER (49) sowie von WÖHLISCH (50) erdacht. Auch diese müssen in ihren Einzelheiten als überholt angesehen werden, während der Grundgedanke der Entspannungshypothese meines Erachtens heute ganz besondere Beachtung verdient.

Für die BETHEsche Hypothese spricht, daß sie, wie ich im folgenden zeigen möchte, die Möglichkeit gibt, ein höchst eigenartiges, schon lange bekanntes [E. WEBER (51) 1846], aber meines Wissens noch nicht gedeutetes Verhalten des Muskels verständlich zu machen: es ist dies die Tatsache, daß die vom Muskel aktiv entwickelte Kraft, d. h. der von der Kontraktion herrührende Zuwachs an Kraft gegenüber der von einer passiven Ruhedehnung herrührenden elastischen Kraft oder Spannung, mit steigender Dehnung bzw. Ruhespannung des Muskels abnimmt, um bei einem bestimmten Dehnungsgrad den Wert Null anzunehmen. Dehnt man den Muskel noch weiter, so führt die Reizung überraschenderweise sogar zu einer Abnahme der durch die Ruhedehnung hervorgerufenen Spannung (sog. WEBERSches Paradoxon). Mit anderen Worten: der Muskel verlängert sich jetzt bei der Reizung, anstatt sich zu verkürzen [Näheres bei FENN (52)]. Trägt man in einem Koordinatensystem, das die Dehnung des Muskels als Abszisse, die Kraft als Ordinate enthält, sowohl das Kraft-Dehnungsdiagramm des ruhenden Muskels wie auch das des isometrisch tätigen Muskels ein, so schneiden sich die beiden Kurven, die Ruhedehnungskurve und die Kurve der maximalen isometrischen Kraft, in einem Punkt, der vielfach — nicht sehr glücklich — als der Punkt der „absoluten Muskelkraft" bezeichnet wird. Dieser Punkt, bei dem die Reizung des Muskels weder eine Längen- noch eine Kraftäußerung hervorruft und den ich als den *„Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion"* bezeichnen möchte, liegt nach neueren Untersuchungen von

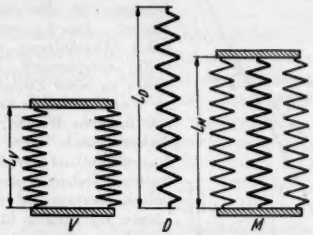


Fig. 3. Federmodell zur Entspannungshypothese der Muskelkontraktion. V = Verkürzungssystem. D = Dehnungssystem. M = Muskelmodell, durch Koppelung von V und D entstanden. L_V, L_D, L_M = Länge der Systeme V, D, M im Gleichgewichtszustand.

REICHEL (53) bei einem Dehnungsgrad von etwa 33 % gegenüber der Ruhelänge.

Zur Deutung dieser Erscheinung nehme ich in modellmäßiger Ausgestaltung der „Entspannungshypothese an, daß im Muskel zwei antagonistische elastische Systeme vorhanden sind[1]), die im ruhenden Muskel miteinander im Gleichgewicht stehen. Das eine System werde als das *Verkürzungssystem* V bezeichnet und durch die kontraktilen Myosinstrukturen dargestellt, das andere werde als das *Dehnungssystem* D bezeichnet. Über seine Natur ist vorläufig nichts Näheres bekannt. Beide Systeme können wir uns im Modell nach Art der Fig. 3 durch Federn dargestellt denken. Im völlig entspannten Zustande sei die Länge L_V des in unserem Schema aus zwei Federn bestehenden Verkürzungssystems V identisch mit der Länge des Muskels im Zustande maximaler Kontraktionsverkürzung. Andererseits sei die Länge L_D des völlig entspannten Dehnungssystems D durch die Länge des bis zum Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion gedehnten Muskels gegeben. Werden beide Systeme nach Art der Fig. 3 miteinander gekoppelt, so weist das dadurch entstehende, dem ruhenden Muskel in seiner natürlichen Länge entsprechende System M eine zwischen den Längen L_V und L_D gelegene Länge L_M

[1]) Ein ähnliches Modell haben MEYER und FERRI (54) zur Deutung der thermischen Ausdehnung des elastischen Gewebes vorgeschlagen.

auf, die von dem Kräfteverhältnis der Einzelsysteme V und D abhängt. Das System V ist jetzt gegenüber seiner natürlichen Länge L_V gedehnt, hat also die Tendenz, sich zu verkürzen wie die thermoelastisch-anomalen Myosinstrukturen des ruhenden Muskels. Das System D dagegen ist gegenüber seiner natürlichen Länge L_D komprimiert, hat also die Tendenz, sich auszudehnen. Der isotonischen Muskelkontraktion entspricht in unserem Modell eine Ausschaltung des Systems D, derzufolge das Modell die Länge L_V annehmen wird. Dehnt man das gekoppelte System M als ganzes und bestimmt oder berechnet man die zu jeder Länge gehörige Kraft, so kann man die Ruhedehnungskurve des Muskelmodells M aufzeichnen. Schaltet man sodann bei verschiedenen Dehnungsgraden unter isometrischen Bedingungen, d. h. bei konstant gehaltener Länge, das System D aus, was isometrischen Muskelkontraktionen bei verschiedenen Dehnungsgraden entspricht, so wird der durch die „Kontraktion" hervorgerufene Zuwachs an Zugkraft gegenüber der Ruhedehnung immer kleiner, je mehr sich die Länge des Systems M der Länge L_D nähert. *Ist L_D erreicht, so führt Abschaltung der jetzt völlig entspannten Feder D weder zu einer Zunahme noch zu einer Abnahme der Kraft, mit anderen Worten: der Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion ist erreicht.* Bei weiterer Dehnung des gekoppelten Systems M über die Länge L_D hinaus führt Abschaltung von System D sodann zu einer Kraftabnahme, genau wie beim wirklichen Muskel jenseits des Indifferenzpunktes der Muskelkontraktion die Reizung zu einer Abnahme der Muskelkraft führt.

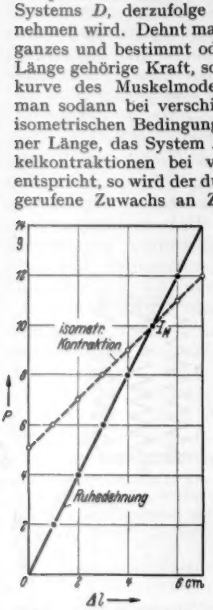


Fig. 4. Kraft P als Funktion der Verlängerung Δl bei Ruhedehnung und „isometrischer Kontraktion" eines Federmodells des Muskels nach der Entspannungshypothese der Muskelkontraktion. J_M = Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion.

Bei Kenntnis der elastischen Daten der beiden Systeme kann man außer der Ruhedehnungskurve auch die Kurve für die Kraft der isometrischen Kontraktionen bei verschiedenen Dehnungsgraden berechnen. Für den Fall unserer Fig. 4 wurden folgende besonders einfachen Voraussetzungen gemacht: Beide Federsysteme sollen das HOOKEsche Gesetz befolgen. Die Länge L_D wurde zu 20 cm, L_V zu 10 cm angenommen. Die für die Dehnung von V bzw. für die Kompression von D erforderliche Kraft betrage je 1,0 g pro Zentimeter Längenänderung. Dann sind die den entspannten Muskel darstellenden gekoppelten Systeme M bei einer Länge $L_M = 15$ cm miteinander im Gleichgewicht. Fig. 4 zeigt die aus diesen Daten berechnete Ruhedehnungskurve und die Kurve der maximalen isometrischen Kraft unseres Muskelmodells mit dem Schnittpunkt J_M, dem Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion. Wählt man anstatt des HOOKEschen Gesetzes eine andere funktionelle Beziehung zwischen Kraft und Dehnung, so läßt sich der Kurvenverlauf des Modellversuchs dem bekanntlich in charakteristischer Weise gekrümmten Kurvenverlauf des Versuches am wirklichen Muskel weitgehend annähern. Das Grundsätzliche, das Auftreten eines Schnittpunktes der Kurven, kann jedoch in der hier gegebenen einfacheren Darstellung ebensogut gezeigt werden.

REICHEL (53) hat darauf hingewiesen, daß der Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion mit dem von WÖHLISCH und CLAMANN (32) gefundenen thermoelastischen Inversionspunkt des ruhenden Muskels übereinstimmt[1]). Es ist tatsächlich sehr auffallend, daß beide Punkte bei einem Dehnungsgrad von etwa 33 % der Ruhelänge des Muskels gelegen sind. Sollte es sich hier um mehr als um einen Zufall handeln, so ist der Gedanke naheliegend, daß der Muskel *deshalb* nur in dem unterhalb des thermoelastischen Inversionspunktes gelegenen Dehnungsbereich fähig ist, sich zu kontrahieren, weil hier seine Elastizität vorwiegend statistisch-kinetischer Natur ist bzw. weil hier die Verkürzung des kontraktilen Materials mit Wärmeabsorption verbunden ist. Es ist dann nur noch ein Schritt zu der weiteren Annahme, daß der Vorgang der Muskelkontraktion selbst letzten Endes eine statistisch-kinetische Erscheinung, also einen

[1]) REICHEL (53), der mit dem schnellregistrierenden Elektronenröhren-Mikrovoltmeter von WÖHLISCH und CLAMANN (56) bei Dehnungen und isometrischen Zuckungen an ein und demselben Muskel Thermogramme aufgenommen hat, vermutet einen engen Zusammenhang der initialen Wärmebildung des isometrisch tätigen mit dem thermoelastischen Effekt des ruhenden Muskels. Es soll nämlich pro Einheit der erzeugten Spannung, unabhängig davon, ob diese aktiv durch die Kontraktion oder passiv durch die Muskeldehnung erzeugt wurde, die gleiche Wärmebildung stattfinden, nämlich im Durchschnitt etwa $13 \cdot 10^{-4}$ cal je 100 g Muskel. Der Indifferenzpunkt der Muskelkontraktion soll der Grenzwert der Dehnung sein, bei dem der gereizte Muskel noch einer mechanischen oder thermischen Reaktion fähig wäre. REICHEL deutet auf Grund dieser Ergebnisse die initiale Wärme geradezu als „thermoelastischen Effekt der inneren Dehnung", von der Auffassung ausgehend [vgl. REICHEL (57)], daß in der quergestreiften Muskelfaser zwei verschiedene Elemente, K und S, serienweise hintereinander geschaltet seien, von denen nur das Element K die Fähigkeit der Kontraktion und der Wärmebildung besitze. Es soll sich unterhalb des thermoelastischen Inversionspunktes thermoelastisch-anomal, oberhalb davon thermoelastisch-normal verhalten. Die weiteren Ausdeutungen REICHELS, vorausgesetzt, daß ich diese richtig verstanden habe, erscheinen mir allerdings nicht einleuchtend. So soll z. B. im Falle einer isometrischen Kontraktion das Element K, dem die Fähigkeit der Wärmebildung zukomme, verkürzt, also entdehnt werden, was mit einer Wärmeabsorption verbunden sein müßte, da es sich thermoelastisch-anomal verhält. Andererseits soll das thermoelastisch-normale Element S dabei gedehnt werden, was wiederum zu einer Wärmeabsorption führen würde. Die stets *exotherme* initiale Wärme der Kontraktion kann also meines Erachtens auf Grund der REICHELschen Annahmen nicht erklärt werden.

Übergang des kontraktilen Systems aus einem unwahrscheinlichen zu einem wahrscheinlicheren Zustande, vorstellt, wie ich (55) dies unlängst bereits angedeutet habe.

Leider kann die Frage, ob die zur Verkürzung des Muskels führenden Kräfte statistisch-kinetischer Natur sind, nicht wie in allen anderen Fällen einfach durch Untersuchung des thermoelastischen Verhaltens entschieden werden, da sich beim Muskel während der Kontraktion weder die thermische Ausdehnung noch der thermoelastische Effekt mit Sicherheit messen lassen. Auch die sonstigen über die Wärmebildung bei der Muskelkontraktion vorliegenden Daten scheinen einstweilen keine Beantwortung unserer Frage zu erlauben[1]), ihre Entscheidung muß weiterer Forschung vorbehalten bleiben. An sich ist die Möglichkeit, daß der Vorgang der Muskelkontraktion nicht statistisch-kinetischer Natur ist, sondern auf dem Wirken intermolekularer Anziehungskräfte beruht, durchaus vereinbar mit den Voraussetzungen, daß 1. im Sinne der Entspannungshypothese die Muskelkontraktion nichts anderes ist als die Verkürzung eines über seine Gleichgewichtslänge hinaus gedehnten kautschukartig-elastischen Materials und daß 2. die Elastizität des *ruhenden* Muskels eine statistisch-kinetische Erscheinung vorstellt. Es wäre nämlich möglich, daß die kontraktilen Elemente bei der im Verlaufe der Kontraktion erfolgenden Entspannung sehr bald in einen Längenbereich geraten, in dem sie sich in Analogie zum nur schwach gedehnten Kautschuk thermoelastisch-normal verhalten.

Sieht man die Entspannungshypothese als richtig an, so bleibt zu erklären, durch welchen Mechanismus das kontraktile System des ruhenden Muskels in Spannung gehalten wird und auf welche Weise bei der Kontraktion die Auslösung der Entspannung — in der Sprache unseres Federmodells also die Ausschaltung des Dehnungssystems D — erfolgt. Wie dies in einer kurzen Mitteilung [WÖHLISCH (55)] bereits angedeutet wurde, dürften sich vielleicht zwei sehr eigenartige physiologische Befunde für das Verständnis des Kontraktionsmechanismus als bedeutungsvoll erweisen. Es sind dies die von EBBECKE (59) entdeckte und näher untersuchte *Kompressionsverkürzung des Muskels* (kurz: EBBECKE-Effekt) und die von ERNST (60) gefundene *Volumverringerung des Muskels bei der Kontraktion* (ERNST-Effekt).

Der EBBECKE-Effekt besteht darin, daß der Skeletmuskel durch einen allgemeinen Druck von mehr als 150—200 at zur Verkürzung gebracht werden kann, wobei seine Hubhöhe und Kraft Werte erreichen wie bei einer echten Kontraktion. Diese Kompressionsverkürzung scheint jedoch unter den zahlreichen Arten der Muskelverkürzungen eine Sonderstellung einzunehmen, die es sehr zweifelhaft erscheinen läßt, daß die Druckerhöhung wirklich nach Art eines echten Reizes, also durch Auslösung eines Erregungsvorganges, zur Muskelkontraktion führt. Bekanntlich ist jede wirkliche Erregung, wie sie am Skeletmuskel am leichtesten durch elektrische Reize ausgelöst werden kann, eine sehr schnell vorübergehende Erscheinung. Infolgedessen führt Dauereinwirkung eines konstanten Reizes zu einer nur Bruchteile einer Sekunde dauernden einzelnen Muskelzuckung, aber nicht etwa zu einer der Dauer des Reizes entsprechenden Dauerverkürzung. Eine solche kann durch echte Reize nur erzielt werden, wenn man die Reizung rhythmisch vornimmt, also beispielsweise mit Wechselstrom anstatt mit Gleichstrom reizt. Es kommt dann auch zu rhythmischen Erregungen, deren Einzelzuckungen bei genügender Frequenz der Reize miteinander verschmelzen und schließlich die als glatten Tetanus bezeichnete, dem äußeren Anschein nach kontinuierliche Dauerverkürzung hervorrufen. Sie weist sich indes durch den rhythmischen Charakter des Aktionsstromes leicht als ein in Wirklichkeit diskontinuierliches Geschehen aus. Das *Fehlen rhythmischer Aktionsströme bei der Kompressionsverkürzung* zeigt nach EBBECKE (59), daß es sich in diesem Falle nicht um eine tetanusartige Kontraktion handeln kann. Sehr wichtig ist die Feststellung EBBECKES, daß auch der infolge von Erschöpfung durch vorangegangene Reizung, durch Alkoholnarkose oder durch Elektrolytverarmung in isotonischer Rohrzuckerlösung *elektrisch unerregbar gewordene*, jedoch nicht abgestorbene Muskel *noch die Kompressionsverkürzung aufweist.* Ein weiterer grundsätzlicher Unterschied in der muskelphysiologischen Wirkung der Kompression einerseits, der gewöhnlichen Reize andererseits ist nach EBBECKE und HASENBRING (61) die Tatsache, *daß bei der Kompressionsverkürzung die für die gewöhnlichen Reize charakteristische Erscheinung des „Einschleichens" fehlt.* Diese besteht bekanntlich darin, daß eine sehr langsame Steigerung der Reizstärke vom Werte Null aus ohne Reizerfolg bleibt, während ein plötzlicher Anstieg der Reizstärke auf den gleichen Endwert eine Erregung hervorruft. In vollständigem Gegensatz hierzu gibt bei der Muskelkompression „die Kontraktionskurve ein getreues Abbild des Druckverlaufs" derart, daß bei langsamem bzw. plötzlichem Druckanstieg auch die Muskelverkürzung langsam bzw. plötzlich ansteigt, die Dauer der Verkürzung mit der Dauer der Kompression identisch und die Hubhöhe des Muskels der Druckhöhe weitgehend proportional ist. EBBECKE (61) selbst hat auf Grund dieser Abweichungen der Kompressionsverkürzung gegenüber der gewöhnlichen Muskelkontraktion die Frage, ob es sich hier überhaupt um eine echte Reizwirkung handle, eingehend erörtert, kommt aber doch zu dem Ergebnis:

„Darum erscheint ... der Kompressionsreiz, so ungewöhnlich und unnatürlich die im normalen Leben nicht vorkommende Druckwirkung ist, doch zugleich

[1]) In einer früheren Mitteilung (55) hatte ich versehentlich angenommen, daß aus den Analysen der initialen Wärmebildung [HARTREE und HILL (58)] auf einen statistisch-kinetischen Mechanismus geschlossen werden könne.

als ein höchst physiologischer Reiz". Er vermutet weiterhin, daß die „durch den hohen Druck im Muskelinnern erzeugte Veränderung selbst zu den normalen Vorgängen bei der Muskelkontraktion" gehört. Nach Ebbecke (62) ist die Kompressionsverkürzung eine Form der idiomuskulären Kontraktion, wie sie bei galvanischer Durchströmung an der Kathode auftreten kann: sowohl die lokale Kathodenwirkung wie auch die lokale oder allgemeine Kompressionswirkung soll während ihrer ganzen Dauer einen kontinuierlichen, nicht fortgeleiteten Reizzustand setzen.

Ebbecke (61) hat auch bereits Beziehungen der Kompressionsverkürzung zum Ernst-Effekt vermutet: „Denn wenn ein Muskel bei der Kontraktion in einen Zustand größerer Dichte mit geringerem Volum übergeht, und andererseits dadurch, daß man ihn zu einem Zustand größerer Dichte mit geringerem Volum zwingt, zur Kontraktion gebracht wird, so erscheint das eine gleichsam als die Umkehrung des anderen, und es besteht ein ähnliches Wechselverhältnis wie zwischen Elektrizitätsproduktion und elektrischer Reizung. Denn eine in Erregung geratene Stelle wird negativ, eine durch Anlegen einer äußeren Spannung elektrisch negativierte Stelle gerät in Erregung. Ein in Kontraktion geratener Muskel verringert sein Volumen, ein durch Pressung im Volumen verringerter Muskel kontrahiert sich." Auch wird hier also der Druck in Analogie zum elektrischen Strom als Reiz aufgefaßt.

In Abweichung von Ebbecke habe ich (63) kürzlich die Vermutung geäußert, daß der muskelphysiologische Effekt der Kompression nicht als Reizwirkung aufzufassen sei. Wie mir scheint, sollten zur Präzisierung der erregungsphysiologischen Begriffe nur solche Einwirkungen als Muskelreize bezeichnet werden, die im Muskel einen durch Aktionsstrom und Refraktärphase gekennzeichneten Erregungsvorgang auslösen bzw. unterhalten, der seinerseits mittelbar auf einstweilen unbekanntem Wege die Muskelverkürzung herbeiführt. Wie für alle echten Auslösungsvorgänge, kann auch für die Reize keine quantitative Beziehung zwischen der Energie des Reizes und der ausgelösten Energie angegeben werden. Zumeist ist die Reizenergie nur ein verschwindend kleiner Bruchteil der durch sie im Muskel ausgelösten Energie. Indes scheinen mir die von Ebbecke ermittelten eigenartigen Gesetze der Kompressionsverkürzung: ihre Auslösbarkeit am narkotisierten Muskel, das Fehlen des Aktionsstroms und sicherlich auch der Refraktärphase, vor allem aber die Tatsache, daß die Kontraktionskurve ein getreues Abbild des Druckverlaufs bildet, die Möglichkeit nahezulegen, daß zwischen Druck und Kompressionsverkürzung eine ganz andere Beziehung besteht als die zwischen Reiz und Erregung. *Es ist denkbar, daß der Druck nicht wie die echten Reize indirekt durch Auslösung eines Erregungsvorganges zur Kontraktion führt, sondern in mehr unmittelbarer Weise, sozusagen unter Umgehung des Erregungssystems, auf das kontraktile System des Muskels einwirkt.* Man hat den Eindruck, daß der Druck eine reversible, mit einer Formänderung verbundene Verschiebung eines im Muskel bestehenden druckabhängigen Gleichgewichtes herbeiführt. Trifft dies zu, so braucht die bei der Kompressionsverkürzung vom Muskel geleistete Arbeit nicht ein Teil der freien Energie des Muskelstoffwechsels zu sein, sie könnte vielmehr einen Teil der zur Kompression des Muskels aufgewendeten Arbeit darstellen. Daß die zur Kompression erforderliche Arbeit größer ist als die bei der Verkürzung geleistete Arbeit, darf wohl als sicher angenommen werden. Auch in energetischer Hinsicht scheinen also, worauf meines Wissens noch nicht hingewiesen wurde, zwischen Druckerhöhung und Kompressionsverkürzung entgegengesetzte Beziehungen zu bestehen wie zwischen echtem Reiz und Muskelkontraktion. In einer früheren Mitteilung (63) wurde das hypothetische druckabhängige Gleichgewicht im Muskel als ein rein mechanisches aufgefaßt. Die Kompressionsverkürzung sollte auf einer Eigentümlichkeit im elastischen Verhalten des Muskels, einer „Kompressibilitätsanomalie" beruhen, zufolge deren sich der Muskel bei Druckerhöhung unter Volumabnahme in seiner Faserrichtung verkürzt, senkrecht dazu ausdehnt. Jedoch könnte an Stelle eines rein mechanischen Gleichgewichtes ebensogut oder besser ein physiko-chemisches Gleichgewicht angenommen werden. Zustandsänderungen dieser Art setzen natürlich einen relativ zu gewöhnlichen Festkörpern komplizierten Aufbau des Systems voraus, wie er ja im Muskel vorliegt. Ein einphasisches, nichtviskoses System würde ein solches Verhalten keinesfalls darbieten, dagegen könnte die Annahme eines geeignet zusammengesetzten zweiphasischen Systems bereits ausreichen[1]).

Wenn ich seinerzeit (63) auf die von Ebbecke (64) im Druckversuch beobachtete Verkürzung gedehnter Kautschukbänder als Analogiefall zum Verhalten des Muskels hingewiesen habe, so ist dies nicht zutreffend, da Ebbecke und Remberg (28), was mir entgangen war, in einer späteren Mitteilung die Verkürzung des Kautschuks auf die bei der Kompression entstehende Erwärmung zurückgeführt haben. Wieweit es sich bei den ebenfalls von Ebbecke (65, 66) an Erythrocyten, also an nicht erregbaren Zellen, bei Kompression beobachteten plastischen Kontraktionen um analoge Erscheinungen handelt, ist zur Zeit schwer zu sagen.

Im Sinne der Entspannungshypothese könnte die Kompressionsverkürzung des Muskels dadurch zustande kommen, daß durch die Druckerhöhung das Dehnungssystem ausgeschaltet wird.

Eine Entscheidung der wichtigen Frage, ob die Kompression beim Muskel als echter Reiz wirkt oder nicht, wird sich vielleicht an Muskeln erbringen lassen, die bei 0° abgestorben sind. Solche Muskeln verhalten sich, wie oben erwähnt [Feng (38), Renk und Wöhlisch (40)] offenbar infolge der Konservierung ihrer kontraktilen Elemente über den Tod hinaus thermoelastisch-anomal wie lebende Muskeln. Es müßte geprüft werden, ob ein derartiger toter Muskel ebenso wie ein narkotisierter noch den Ebbecke-Effekt zeigt, wie ich dies vermuten möchte. Weiterhin wäre am gleichen Objekt zu prüfen, ob eine solche Kompressions-

[1]) Für den freundlichen Hinweis hierauf sage ich Herrn A. Smekal auch an dieser Stelle meinen besten Dank.

verkürzung das im Sinne der Entspannungshypothese so wichtige WEBERsche Paradoxon erkennen läßt. Von besonderer Bedeutung wären Untersuchungen über den Einfluß der Temperatur auf die Kompressionsverkürzung. Vom Standpunkt der statistisch-kinetischen Theorie der Hochelastizität würde vor allem die funktionelle Beziehung zwischen Kompressionsspannung und Temperatur von Bedeutung sein. Endlich würde die Kenntnis der Temperaturabhängigkeit der Latenzzeit der Kompressionsverkürzung vielleicht nähere Aussagen über das Wesen dieses Vorganges ermöglichen. Sollte es sich hierbei um einen echten Erregungsvorgang handeln, so wäre, wie bei der normalen Muskelkontraktion, ein großer Wert des Temperaturkoeffizienten — ein Absinken der Latenzzeit auf etwa die Hälfte für je 10° Temperaturerhöhung — zu erwarten. Ein wesentlich kleinerer Wert würde eher für die hier vertretene, mehr physikalische Auffassung der Kompressionsverkürzung sprechen. Eine gewisse Abnahme der Latenzzeit mit steigender Temperatur wäre wohl unter allen Umständen zu erwarten, schon deshalb, weil in der Latenzzeit stets ein mit der Viskosität in Zusammenhang stehender Anteil enthalten sein dürfte, der mit steigender Temperatur abnimmt.

Nachtrag bei der Korrektur: In einer soeben erschienenen Arbeit stellte EBBECKES Schüler HASENBRING (80) fest, daß ein Einfluß der Temperatur auf die Latenzzeit der Kompressionsverkürzung nicht eindeutig festzustellen ist. Zwar scheint die Latenzzeit bei höherer Temperatur etwas kleiner zu sein, jedoch liegen die Veränderungen innerhalb der Fehlergrenzen, obwohl eine Temperaturdifferenz von 7—8° C zur Anwendung kam.

Der zweite für das Verständnis der normalen, also durch echte Reize hervorgerufenen, Muskelkontraktion grundlegend wichtige Befund ist der ERNST-Effekt, d. h. die *Volumverringerung oder Volumkonstriktion des Muskels bei der Kontraktion.* Stellt der EBBECKE-Effekt, wie dies hier angenommen wurde, im Gegensatz zur echten Muskelkontraktion kein erregungsartiges Geschehen, sondern eine im weitesten Sinne des Wortes mechanische Reaktion des kontraktilen Systems auf die Druckerhöhung vor, so ist es naheliegend, zur Deutung des Mechanismus der Muskelkontraktion anzunehmen [WÖHLISCH (65)],

„daß der das Muskelvolum verkleinernde Binnendruck des ERNST-Effektes in seiner elastischen Auswirkung auf den Muskel einem allgemeinen äußeren Druck gleichwertig ist, also ebenso wie dieser zu einer Kompressionsverkürzung des Muskels führt. Mit anderen Worten: es ist denkbar, daß die Muskelkontraktion ihrem Wesen nach nichts anderes vorstellt als einen durch den Binnendruck des ERNST-Effektes hervorgerufenen EBBECKE-Effekt, wobei letzterer nicht als eine Reizwirkung, sondern als eine rein elastische Reaktionsweise des anomal-kompressiblen Muskels aufzufassen ist. Die Volumenergie des ERNST-Effektes würde nach dieser Arbeitshypothese die primäre mechanische Äußerung der freien Energie des Muskels vorstellen."

Um die Möglichkeit einer derartigen Deutung des Kontraktionsmechanismus zu beurteilen, muß man vor allem wissen, *in welcher Weise der* ERNST-*Effekt zeitlich in das Geschehen bei der Muskelkontraktion einzuordnen ist.* In dieser Hinsicht kann zunächst als sicher gelten, daß die Volumkonstriktion des ERNST-Effektes nicht etwa eine Folge des Kontraktionsvorganges, sondern höchstwahrscheinlich umgekehrt *der Kontraktionsvorgang eine Folge der Volumkonstriktion* ist. Dies geht daraus hervor, daß bei rhythmischer Reizung des Muskels mit solchen Frequenzen, die in der Kontraktionskurve (Mechanogramm) zu einer vollkommenen Verschmelzung der einzelnen Zuckungen, d. h. zu einem glatten Tetanus, führen, der Reizrhythmus in der Volumkurve noch deutlich zu erkennen ist. Während im Mechanogramm schon bei etwa 15 Reizen/Sek. eine Verschmelzung erfolgt, sind in der Volumkurve noch etwa 150 Reize/Sek. als einzelne Impulse erkennbar. Dies wurde zuerst von ERNST und Mitarbeitern (67—69) gefunden, von MEYERHOF und MÖHLE (70) anfänglich bestritten, später jedoch mit verbesserter Methodik vollständig bestätigt (71). Nach ERNST (67, 72) ist außerdem die Latenzzeit der Volumkonstriktion kleiner als die der Muskelkontraktion. Dies stimmt wiederum dem Sinne nach zu der Angabe von MEYERHOF und MÖHLE (71), daß bei der isotonischen Muskelkontraktion die Kurve der Volumkonstriktion ihr Maximum vor der Kurve der Muskelverkürzung erreicht.

Geht somit die Volumkonstriktion der Kontraktion voran, so ist sie andererseits kein Ausdruck jenes primären Erregungsprozesses, der dem Aktionsstrom zugrunde liegt, da MEYERHOF und MÖHLE (71) überzeugend nachgewiesen haben, daß der Aktionsstrom seinerseits der Volumkonstriktion vorauseilt.

Es kann somit wohl nicht zweifelhaft sein, daß der ERNST-*Effekt zeitlich und damit wohl auch kausal zwischen den Erregungsvorgang und den Kontraktionsvorgang eingeordnet werden muß, wie dies meine Arbeitshypothese vom Wesen des Kontraktionsmechanismus verlangt.* Besonders eindringlich aber scheinen mir die folgenden Befunde darauf hinzuweisen, daß wir im ERNST-Effekt den Ausdruck der potentiellen mechanischen Muskelenergie zu erblicken haben.

MEYERHOF und HARTMANN (73) haben festgestellt, daß der maximale Ausschlag der Volumkonstriktion bei der isometrischen, also keinerlei Arbeit leistenden Einzelzuckung etwa 3mal so groß ist wie bei der isotonischen Einzelzuckung. Weiterhin ist die Gesamtdauer der Volumkonstriktion im Falle der Isometrie fast doppelt so groß, die Anstiegsdauer zum Maximalwert rund 4mal so groß wie im Fall der Isotonie. Die Latenzzeiten sind in beiden Fällen gleich. Tabelle 4 zeigt die von MEYERHOF und HARTMANN gefundenen Werte.

Tabelle 4.

Zuckungsart	Volumkonstriktion			
	1 Maximaler Ausschlag (ccm/g)	2 Gesamtdauer (σ)	3 Anstiegsdauer (σ)	4 Latenzzeit (σ)
Isometrisch . .	$2{,}0 \cdot 10^{-5}$	90	30	7—8
Isotonisch . .	$6{,}4 \cdot 10^{-6}$	50	7	7—8

Wie mir scheint, erfahren diese Daten eine einleuchtende Deutung durch die hier vertretene Arbeitshypothese, daß die Volumenergie des ERNST-Effektes die erste bei der Muskeltätigkeit auftretende mechanische Äußerung der nutzbaren Muskelenergie, d. h. den mechanisch-potentiellen, vom Muskel in Arbeit verwandelbaren Anteil der freien Energie des initialen Stoffwechselprozesses vortellt[1]). HARTREE und HILL (58) haben nachgewiesen, daß die bei der Einzelzuckung gebildete Gesamtenergie konstant, also unabhängig davon ist, ob die Kontraktion isometrisch ohne Arbeitsleistung oder isotonisch mit Arbeitsleistung erfolgt (vgl. Fig. 5). Soweit die initiale Energieabgabe in Form von Wärme auftritt (sog. initiale Wärme), verteilt sie sich stets auf 2 Phasen, eine auf die

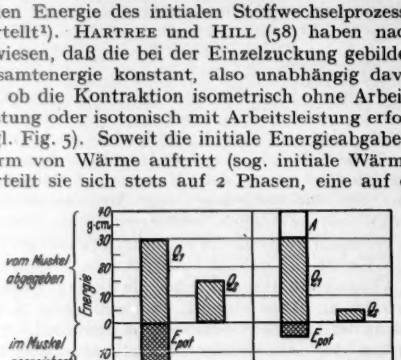


Fig. 5. Energiebilanz einer isometrischen Einzelzuckung (keine Arbeitsleistung) und einer isotonischen Einzelzuckung (Arbeit: 10 g·cm) des gleichen Muskels. Die produzierte Gesamtenergie ist in beiden Fällen die gleiche: 45 g·cm. Q_1 = Anspannungs- bzw. Verkürzungswärme. Q_2 = Erschlaffungswärme. A = Arbeit. E_{pot} = potentielle mechanische Energie. Es gilt: $E_{pot} = Q_2$. Die nach oben von der Nullinie aufgetragenen Energiemengen werden an die Außenwelt abgegeben, die nach unten aufgetragenen werden im Muskel gespeichert. Schematische Darstellung nach einem Versuch von HARTREE und HILL.

Anspannung (isometrischer Fall) oder Verkürzung (isotonischer Fall) entfallende Wärmemenge Q_1 und eine in die Erschlaffung fallende Wärmemenge Q_2. Diese beiden schnell nacheinanderfolgenden Wärmestöße konnten bei der Einzelzuckung des Skeletmuskels besonders deutlich, ohne die sonst erforderlichen Kurvenkorrekturen, von WÖHLISCH und CLAMANN (74) mit ihrem im Vergleich zu den früher bei myothermischen Messungen verwendeten Galvanometern außerordentlich schnell reagierenden Elektronenröhren-Mikrovoltmeter (56) nachgewiesen werden. Es scheint nach HARTREE und HILL (58) festzustehen, daß die Erschlaffungswärme Q_2 bei einer arbeitleistenden isotonischen Zuckung gegenüber der isometrischen Zuckung um den gleichen Betrag vermindert ist, der in der Verkürzungsphase als Arbeit abgegeben wird. Da unter isometrischen Bedingungen überhaupt keine Arbeit geleistet wird, hat die Erschlaffungswärme in diesem Fall also einen Maximalwert. Die gesamte in der isometrischen Anspannungsphase gesammelte potentielle mechanische Energie wird nach HARTREE und HILL erst in der Erschlaffungsphase als Wärme zerstreut[1]). Demgegenüber wird bei der isotonischen Zuckung schon in der Verkürzungsphase potentielle Energie durch Umwandlung in Arbeit abgegeben: der Maximalwert der gebildeten potentiellen Energie muß daher in diesem Falle niedriger liegen, und sein Abfall zum Wert Null muß früher erreicht sein als bei der isometrischen Zuckung. Das Verhalten der potentiellen Energie bei isometrischer und isotonischer Zuckung (vgl. Fig. 5) unterscheidet sich also nach HARTREE und HILL in der gleichen Weise, die von MEYERHOF und HARTMANN (73) für das Verhalten der Muskelkonstriktion bei diesen beiden Zuckungsarten gefunden wurde (vgl. Tabelle 4, Spalte 1). Hierauf ist meines Wissens noch niemals hingewiesen worden. Dagegen haben schon MEYERHOF und HARTMANN die kürzere Dauer der isotonischen Volumschwankung gegenüber der isometrischen (vgl. Tabelle 4, Spalte 2) vermutungsweise mit der von HARTREE (75) festgestellten Tatsache in Zusammenhang gebracht, daß bei der isotonischen Zuckung „der größere Teil des Energieumsatzes schon während der Verkürzungszeit eintritt, während er sich bei der isometrischen Kontraktion auf die Anpassung und Erschlaffung verteilt". Sie haben jedoch aus diesem Verhalten nicht den Schluß gezogen, daß die Volumkonstriktion als Ausdruck der potentiell-mechanischen Muskelenergie anzusprechen sei.

In Fig. 5 habe ich die Energiebilanzen der isometrischen und isotonischen Einzelzuckung eines Muskels nach Daten von HARTREE und HILL und nach ihrer Auffassung von der Beziehung zwischen

[1]) Bei reversibler Leitung kann die freie Energie einer Reaktion bekanntlich quantitativ in Arbeit verwandelt werden, es ist aber nicht anzunehmen, daß sich diese Idealbedingung im Muskel verwirklichen läßt.

[1]) HARTREE und HILL äußern sich über die auch von ihnen hypothetisch angenommene potentielle Vorstufe der mechanischen Muskelarbeit folgendermaßen: „There ist some ‚intensity' factor $\mathfrak{F}$, as present unkown, possibly however a local change in acidity or a difference of electrical potential, the sudden increase in which, as the result of stimulation, is responsible for the mechanical response; this alteration in the intensity factor $\mathfrak{F}$ is analogous to the rise of temperature of a gas, which, causing an increase of pressure, permits the performance of work. If, however, the energy so set free be not employed immediately in the performance of work it tends to be dissipated irreversibly in a process which is known as relaxation, and $\mathfrak{F}$ returns to its resting level". — Ist wirklich, wie ich annehme, der hypothetische „Intensitätsfaktor" von HARTREE und HILL identisch mit der Energie des ERNST-Effektes, so wäre die von den beiden Autoren betonte Analogie zum Gasdruck mehr als ein bloßer Vergleich, da in beiden Fällen, beim Gas und beim Muskel, die potentielle Energie als *Volumenergie* auftritt. Der Unterschied besteht, worüber sich selbstverständlich auch HARTREE und HILL klar waren, darin, daß beim Muskel die potentielle Energie nicht durch eine Temperaturerhöhung entsteht.

potentieller mechanischer Muskelenergie und Erschlaffungswärme schematisch dargestellt. Die bei isometrischer und isotonischer Kontraktion gleich große Anspannungs- bzw. Verkürzungswärme Q_1 muß wohl mit Sicherheit als der nicht in Arbeit verwandelbare Teil der gesamten Wärmetönung des der Kontraktion zugrunde liegenden Stoffwechselprozesses angesehen werden.

Selbstverständlich sollen in der vorliegenden Untersuchung auch die *Schwierigkeiten erörtert werden, die sich der hier vertretenen Arbeitshypothese entgegenstellen:*

MEYERHOF und MÖHLE (70) haben überschlagsmäßig berechnet, daß bei einer Volumkonstriktion von $1{,}1 \cdot 10^{-4}$ ccm auf 1,25 g Muskelsubstanz zur Kompression des in diesem Muskel vorhandenen Wassers (etwa 1,0 ccm) ein Überdruck von 2 at erforderlich wäre. Dies scheint schlecht mit unserer Annahme übereinzustimmen, die im Falle der Muskelkontraktion den Binnendruck des ERNST-Effektes, im Falle des EBBECKE-Effektes den äußeren Überdruck als das auf physikalischem Wege zur Verkürzung des kontraktilen Systems führende Agens ansieht: ist doch die Kompressionsverkürzung nach EBBECKE erst durch Drucke von mindestens 150—200 at, also durch rund 100mal größere Drucke als die aus dem ERNST-Effekt für den Binnendruck des Muskels geschätzten Werte auslösbar. Wir haben es hier mit einem schwerwiegenden, jedoch keineswegs entscheidenden Einwand zu tun: Es kann wohl als wahrscheinlich angesehen werden, daß bei der Muskelkontraktion der zur Volumkonstriktion führende Stoffwechselvorgang — nach einer Annahme von ERNST (76) handelt es sich um eine Ionenbildung, nach MEYERHOF (77) um andersartige chemische Vorgänge — nicht den ganzen Muskel, sondern nur gewisse Muskelelemente betrifft. Vermutlich spielt sich nur an diesen die Volumkonstriktion ab. Da über das Volum und die Kompressibilität dieser Elemente einstweilen nichts bekannt ist, so vermag die Berechnung von MEYERHOF und MÖHLE, bei der das Volum und die Kompressibilität des im Muskel enthaltenen Wassers zugrunde gelegt wurden, auch nichts Sicheres über die in den fraglichen Muskelelementen auftretenden Drucke auszusagen. Weiterhin ist aber zu bedenken, daß der bei der Kompressionsverkürzung angewandte äußere Druck nicht nur diejenigen Elemente komprimiert, die bei der Muskelkontraktion die physiologische Volumkonstriktion des ERNST-Effektes erfahren, sondern auch die übrigen Muskelteile: es ist durchaus denkbar, daß die unphysiologische Kompression der dem ERNST-Effekt nicht unterworfenen Muskelteile der Kontraktionsauslösung geradezu entgegenwirkt und daß aus diesem Grunde erst sehr hohe äußere Drucke die Verkürzung des EBBECKE-Effektes hervorrufen. Die Interferenz eines kontraktionsfördernden Druckeinflusses auf die den normalen ERNST-Effekt aufweisenden Muskelelemente und eines kontraktionshindernden Druckeinflusses auf die übrigen Muskelteile könnte auch der Grund dafür sein, das der EBBECKE-Effekt erst oberhalb eines Schwellenwertes des Druckes auftritt.

Eine weitere Hilfsannahme wird vom Standpunkt unserer Arbeitshyothese durch die von DEUTICKE und EBBECKE (78) sowie von DEUTICKE und HASENBRING (79) nachgewiesene Tatsache nahegelegt, daß sich im kompressionsverkürzten Muskel die gleichen chemischen Vorgänge abspielen, wie im elektrisch gereizten. Vielleicht ist es so, daß sowohl im elektrisch gereizten wie im kompressionsverkürzten Muskel die nachweisbaren Stoffwechselvorgänge — vor allem Phosphagen- und Glykogenspaltung — infolge der Volumverringerung gewisser Muskelelemente durch den ERNST-Effekt bzw. den allgemeinen äußeren Druck sich abspielen. Übrigens fassen DEUTICKE und EBBECKE die von ihnen bei der Kompressionsverkürzung nachgewiesenen Stoffwechselprozesse nicht als die Ursache der Muskelverkürzung, sondern als Erholungsvorgänge auf.

Um die hier entwickelten Vorstellungen trotz der soeben erwähnten, wie mir scheint nicht grundsätzlichen Schwierigkeiten näher zu formulieren, nehme ich an, daß der Muskel eine große Anzahl unter sich gleichartiger Elemente enthält, in denen sich die Volumkonstriktion bzw. der ihr zugrunde liegende Stoffwechselvorgang abspielen. Sie stellen somit die Elementarspeicher der potentiellen mechanischen Volumenergie vor, während die übrigen Anteile des Muskels an der Konstriktion vermutlich nicht teilnehmen. Das Gesamtvolum der Elemente im ruhenden Muskel V_0 dürfte also kleiner sein als das Muskelvolum. Ist p der während der Volumkonstriktion zu überwindende, nach einstweilen unbekannter Funktion im Verlauf der Volumabnahme ansteigende Druck und V_1 das bei einer gegebenen Volumkonstriktion erreichte Endvolum, $V_0 - V_1$ also der Volumausschlag des ERNST-Effektes, so ist allgemein die im Muskel bei einer Erregung gespeicherte potentielle mechanische Energie gegeben durch

$$E_{\text{pot}} = \int_{V_0}^{V_1} p \cdot dV .$$

Wie wir sahen, weist das Endvolum V_1, je nach der Kontraktionsart, verschiedene Werte auf. Es sei $V_{\text{isom.}}$ das bei isometrischer und $V_{\text{isot.}}$ das bei isotonischer Einzelzuckung erreichte Endvolum. Ferner sei A die bei der Muskelkontraktion abgegebene Arbeit und Q_1 die konstante Anspannungs- bzw. Verkürzungswärme (vgl. Fig. 5). Ist, wie dies HARTREE (58) und HILL fanden, die von dem chemischen Energiespeicher des Muskels bei einer Einzelzuckung abgegebene initiale Gesamtenergie U für isometrische und isotonische Zuckungen gleich groß und wird die Arbeit auf Kosten der potentiellen mechanischen Energie geleistet, so gilt nach unserer Auffassung

$$U = Q_1 + \int_{V_0}^{V_{\text{isom}}} p \cdot dV = Q_1 + \int_{V_0}^{V_{\text{isot}}} p \cdot dV + A .$$

Die hier entwickelte Vorstellung vom Mechanismus der Muskelkontraktion steht in Übereinstimmung mit der grundlegenden Erkenntnis von ADOLF FICK[1]), daß der Muskel keine Wärmekraftmaschine vorstellt, bei der freie Energie der Stoffwechselvorgänge auf dem Umweg über Wärme in mechanische Arbeit umgewandelt würde, sondern eine „chemodynamische Maschine", bei der

[1]) Vgl. hierzu meinen Aufsatz: „Adolf Fick und die heutige Physiologie". Naturwiss. **26**, 585 (1938).

freie chemische Energie unmittelbar und daher mit größerem Nutzeffekt in mechanische Energie übergeht. Die nach unserer Hypothese primäre Äußerung der mechanischen Energie, die stoßartig verlaufenden Impulse der ERNSTschen Volumkonstriktionen, könnte man sinngemäß als „Implosionen" des Muskelmotors bezeichnen. Da der bei einer Implosion zurückgelegte Weg, die unmittelbare Hubhöhe des Vorganges, sehr klein ist, würde der Antrieb des Muskels in der Sprache der Technik als ein chemodynamischer, kurzhubiger Implosionsmotor näher zu kennzeichnen sein. In einem elastisch isotrop gedachten Muskel würde die Hubhöhe eines derartigen Motors in allen Richtungen den gleichen geringen Bruchteil der linearen Dimensionen betragen. Trotz der großen Kraft seiner Volumkonstriktionsimpulse wäre ein solcher Motor für die biologische Aufgabe des Muskels, Lasten über beträchtliche Bruchteile seiner Längsdimensionen zu bewegen, gänzlich ungeeignet. Eine größere Hubhöhe in gewünschter Richtung ist bei gegebenem Ausmaß der Volumkonstriktionen nur bei einem elastisch-anisotropen Gebilde zu erzielen, das seine Dimensionen bei der allgemeinen Kompression nach verschiedenen Richtungen ungleichmäßig verändert. Der günstigste Fall der elastischen Anisotropie ist das oben als Kompressibilitätsanomalie gekennzeichnete, beim Muskel einstweilen hypothetisch angenommene Verhalten, da hier trotz kleiner Volumänderung des Systems eine sehr große Hubhöhe in longitudinaler Richtung (Faserrichtung) durch gleichzeitige Zunahme der Dimensionen in transversaler Richtung erreicht wird. Die für die Kompressibilitätsanomalie verantwortlichen geordneten Feinstrukturelemente des Muskels hätten demnach folgende beiden Aufgaben zu erfüllen:

1. den allgemeinen Druck des ERNST-Effektes analog dem Kolben einer Dampfmaschine zur Betätigung eines einachsigen Bewegungsmechanismus zu veranlassen,

2. im Sinne eines Übersetzungsgetriebes mit sehr hohem Übersetzungsverhältnis bei gegebener Arbeit (Kraft × Weg) des kurzhubigen Implosionsmotors einen Gewinn von Weg (Hubhöhe) auf Kosten der Kraft zu erzielen.

Die kautschukartig-elastische Koppelung dieses Getriebes bewirkt außerdem, daß die den ERNST-Effekt bildenden harten Impulse weitgehend geglättet werden und daher im Kontraktionsvorgang des Muskels bei genügend hoher Reizfrequenz (Tourenzahl des Motors) überhaupt nicht mehr nachweisbar sind: es ist dies der Fall des glatten Tetanus, wie er von jeder willkürlichen Bewegung unserer Muskulatur dargestellt wird.

Literatur.

1. E. WÖHLISCH, Kolloid-Z. **89**, 239 (1939). — 2. E. WÖHLISCH, Verh. physik.-med. Ges. Würzburg, N. F. **51**, 53 (1926). — 3. R. HOUWINK, Elastizität, Plastizität und Struktur der Materie. Dresden u. Leipzig 1938. — 4. H. FIKENTSCHER u. H. MARK, Kolloid-Z. **49**, 135 (1929). — 5. K. H. MEYER u. H. MARK, Der Aufbau der hochpolymeren organischen Naturstoffe. Leipzig 1930. — 6. L. HOCK, Artikel: Physik des Kautschuks in MEMMLERS Handbuch der Kautschukwissenschaft. Leipzig 1930. — 7. L. HOCK, Kolloid-Z. **35**, 40 (1924). — 8. I. R. KATZ, Naturwiss. **13**, 410 (1925). — 9. E. WÖHLISCH, Z. Biol. **85**, 379 (1926). — 10. P. v. BJERKÉN, Ann. Physik **43**, 871 (1891). — 11. H. STAUDINGER, Die hochmolekularen organischen Verbindungen, Kautschuk und Zellulose. Berlin 1932. — 12. E. WÖHLISCH, Erg. Physiol. **34**, 406 (1932). — 13. E. WÖHLISCH, Z. Biol. **88**, 52 (1928). — 14. K. H. MEYER, G. v. SUSICH u. E. VALKÓ, Kolloid-Z. **59**, 208 (1932). — 15. W. HALLER, Kolloid-Z. **56**, 257 (1931). — 16. W. KUHN, Kolloid-Z. **87**, 3 (1939). — 17. W. KUHN, Angew. Chem. **51**, 640 (1938). — 18. E. WÖHLISCH, Biochem. Z. **247**, 329 (1932). — 19. E. WÖHLISCH, Naturwiss. **26**, 380 (1938). — 20. E. WÖHLISCH u. R. DU MESNIL DE ROCHEMONT, Z. Biol. **85**, 406 (1927). — 21. G. v. SUSICH, Naturwiss. **18**, 915 (1930). — 22. P. A. THIESSEN u. W. WITTSTADT, Z. physik. Chem. B **29**, 359 (1935); **41**, 33 (1938). — 23. Wo. OSTWALD, Kolloid-Z. **40**, 58 (1926); **69**, 339 (1934); **80**, 374 (1937). — 24. W. B. WIEGAND, Trans. Inst. Rubber Ind. **1**, 141 (1925). — 25. W. B. WIEGAND u. I. W. SNYDER, Trans. Inst. Rubber Ind. **10**, 234 (1934). — 26. W. KUHN, Kolloid-Z. **76**, 258 (1936). — 27. W. KUHN, Naturwiss. **24**, 346 (1936). — 28. U. EBBECKE u. H. REMBERG, Pflügers Arch. **240**, 137 (1938). — 29. U. EBBECKE, Pflügers Arch. **240**, 155 (1938). — 30. E. WÖHLISCH u. H. G. CLAMANN, Pflügers Arch. **237**, 590 (1936). — 31. H. TRIEPEL, Einführung in die physikalische Anatomie. Wiesbaden 1902. — 32. E. WÖHLISCH u. H. G. CLAMANN, Z. Biol. **91**, 399 (1931). — 33. E. WÖHLISCH, Z. Biol. **91**, 137 (1931). — 34. E. WÖHLISCH, in Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden Abt. 5, Tl. 5a, S. 1287. Berlin 1935. — 35. E. WÖHLISCH u. F. RENK, Pflügers Arch. **240**, 753 (1938). — 36. A. V. HILL u. W. HARTREE, J. of Physiol. **54**, 84 (1920). — 37. A. V. HILL u. W. HARTREE, Philos. Trans. B **210**, 153 (1921). — 38. T. P. FENG, J. of Physiol. **74**, 455 (1932). — 39. K. H. MEYER u. L. R. PICKEN, Proc. roy. Soc. Lond. B **124**, 29 (1937). — 40. F. RENK u. E. WÖHLISCH, Pflügers Arch. **243**, 110 (1939). — 41. E. WÖHLISCH u. F. RENK, Naturwiss. **27**, 370 (1939). — 42. A. v. MURALT, Kolloid-Z. **63**, 228 (1933). — 43. H. H. WEBER, Naturwiss. **27**, 33 (1939). — 44. A. BETHE, Pflügers Arch. **142**, 291 (1911). — 45. O. FÜRTH, Erg. Physiol. **17**, 363 (1919). — 46. A. V. HILL, Nature (Lond.) **1923** (14. Juli). — 47. K. H. MEYER, Biochem. Z. **214**, 253 (1929). — 48. A. BETHE, Naturwiss. **18**, 67 (1930). — 49. A. PÜTTER, Naturwiss. **2**, 31 (1914). — 50. E. WÖHLISCH, Verh. physik.-med. Ges. Würzburg, N. F. **50**, 164 (1925). — 51. E. WEBER, Muskelbewegung. In WAGNERS Handwörterbuch der Physiologie **3**, Tl. 2, 110. Braunschweig 1846. — 52. W. O. FENN, Die mechanischen Eigenschaften des Muskels. In: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie **8**, 1. Hälfte, 146. Berlin 1925. — 53. H. REICHEL, Z. Biol. **98**, 510 (1938). — 54. K. H. MEYER u. C. FERRI, Pflügers Arch. **238**, 78 (1936). — 55. E. WÖHLISCH, Naturwiss. **27**, 678 (1939). — 56. E. WÖHLISCH u. H. G. CLAMANN, Z. Biol. **92**, 1 (1931). — 57. H. REICHEL, Z. Biol. **97**, 429 (1936). — 58. W. HARTREE u. A. V. HILL, Proc. roy. Soc. Lond. B **104**, 1 (1928). — 59. U. EBBECKE, Pflügers Arch. **157**, 79 (1914). — 60. E. ERNST, Pflügers Arch. **209**, 613 (1925). — 61. U. EBBECKE u. O. HASENBRING, Pflügers Arch. **236**, 405 (1935). — 62. U. EBBECKE, Pflügers Arch. **236**, 662 (1935). — 63. E. WÖHLISCH, Naturwiss. **27**, 646 (1930). — 64. U. EBBECKE, Sechenow J. of Physiol. of the U.S.S.R. **21**, Nr 5/6. — 65. U. EBBECKE, Pflügers

Arch. **238**, 452 (1936). — 66. U. EBBECKE, Pflügers Arch. **239**, 533 (1937). — 67. E. ERNST, Pflügers Arch. **220**, 672 (1928). — 68. E. ERNST u. J. KOCZKÁS, Pflügers Arch. **235**, 389 (1935). — 69. E. ERNST u. J. KOCZKÁS, Pflügers Arch. **239**, 692 (1938). — 70. O. MEYERHOF u. W. MÖHLE, Biochem. Z. **260**, 469 (1933). — 71. O. MEYERHOF u. W. MÖHLE, Biochem. Z. **236**, 533 (1935). — 72. E. ERNST, Pflügers Arch. **214**, 240 (1926). — 73. O. MEYERHOF u. H. HARTMANN, Pflügers Arch. **234**, 722 (1934). — 74. E. WÖHLISCH u. H. G. CLAMANN, Z. Biol. **92**, 261 (1932). — 75. W. HARTREE, J. of Physiol. **60**, 269 (1925). — 76. E. ERNST, Pflügers Arch. **218**, 137 (1927). — 77. O. MEYERHOF u. W. MÖHLE Biochem. Z. **261**, 252 (1933). — 78. H. I. DEUTICKE u. U. EBBECKE, Hoppe-Seylers Z. **247**, 79 (1937). — 79. H. I. DEUTICKE u. O. HASENBRING, Hoppe-Seylers Z. **256**, 184 (1938). — 80. O. HASENBRING, Pflügers Arch. **243**, 96 (1939).

Kurze Originalmitteilung.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

γ-Strahlen bei der Anlagerung von Protonen an Beryllium.

Die Anregungsfunktion für den Prozeß

$$Be^9 + H^1 \rightarrow B^{10} + h\nu \quad (\Delta W = 6{,}4\ \text{MeV})$$

wurde unterhalb 500 kV zuerst von CURRAN, DEE und PETRŽILKA[1]) studiert. Bei 350 kV war eine breite Resonanz vorhanden, und im Gebiet 350—500 kV war die Intensität der Strahlung auffallend groß, so daß die Möglichkeit, daß in diesem Bereich noch mehrere Resonanzen vorhanden seien,

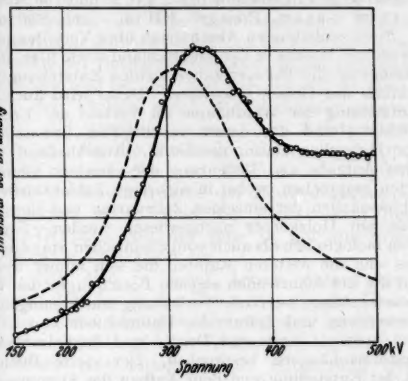


Fig. 1.

——— Anregungskurve für den Prozeß $Be^9 + H^1 \rightarrow B^{10} + h\nu$,
..... Oben erwähnte Kurve durch $\lambda^2 P$ dividiert.

nicht ausgeschlossen schien. Die Genauigkeit der Messungen war jedoch nicht so groß, daß man Schlüsse in dieser Richtung daraus ziehen konnte, und es war auch nicht möglich, die genaue Lage und Breite der Resonanz bei 350 kV festzustellen. Eine weitere Schwierigkeit der Deutung entstand dadurch, daß die Berylliumscheibe mit Kohlenstoff verunreinigt war.

Wir haben uns vorgenommen, die Anregungskurve des genannten Prozesses möglichst genau zu messen, indem wir uns bestrebten, die Meßtechnik sowohl in bezug auf die Spannungsmesssung als auf die Messung der Intensität der γ-Strahlen möglichst weitgehend zu verfeinern. Die Apparatur wird später beschrieben werden.

Die Streuung der Protonengeschwindigkeit ist kleiner als 2 kV. Die verwendeten Berylliumscheiben waren auf Kupfer niedergeschlagen und so dick, daß sie ein Bremsvermögen von etwa 5 kV hatten. Die Scheiben belegten sich im Betrieb allmählich mit einer braunen Schicht, und außerdem splitterten von dem Metall nach und nach kleine Stücke ab, so daß die Scheiben nach kurzem Gebrauch erneuert werden mußten.

Das gesamte Meßgebiet wurde daher in mehrere Teilgebiete eingeteilt, und in jedem Teilgebiet wurde auf mehrere Scheiben gemessen. Die Intensität der Strahlung ist selbstverständlich bei den verschiedenen Scheiben nicht genau dieselbe, und bei der Mittelwertbildung wurde daher die Intensität auf einen gemeinsamen Maßstab umgerechnet. Die aufeinanderfolgenden Teilgebiete waren so gewählt, daß sie einige Meßpunkte gemeinsam hatten, wodurch das Aneinanderfügen der Teilgebiete erleichtert wurde.

Aus den Messungen ging hervor, daß im Gebiet 150 bis 500 kV keine neuen Resonanzen sind, die sich in der Ausbeutekurve mit Effekten größer als die Fehlergrenzen sichtbar machen, d. h. man kann behaupten, daß im genannten Gebiet evtl. Effekte keine Abweichung von der gezogenen Kurve von mehr als 3 % bewirken. Der Mittelwert von mehreren zusammengefügten Serien wird in der Figur durch die Ringe wiedergegeben. Jedem Meßpunkt, außer den bei den niedrigsten Spannungen, liegen 5000—8000 Zählungen zugrunde. Wir finden das Maximum der Kurve bei etwas niedrigerer Spannung als CURRAN, DEE und PETRŽILKA.

Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß bei der hier untersuchten Reaktion ein Quant ausgesandt wird, setzt sich aus mehreren Faktoren zusammen[2]). Man erhält eine klarere Darstellung der Verhältnisse, wenn man die Meßpunkte mit zwei von diesen Faktoren, λ^2 und P dividiert. λ bedeutet die Wellenlänge des Protons. P bedeutet die Wahrscheinlichkeit für das Eindringen des Protons über den Potentialwall des Kerns. P ist nicht genau bekannt, kann aber approximiert werden[2]). Im vorliegenden Fall lautet die Formel für P

$$P = e^{-2{,}2\,\gamma\left(\frac{E}{1500}\right)}$$

$$\gamma(x) = \frac{\arccos\sqrt{x}}{\sqrt{x}} - \sqrt{(1-x)}\,.$$

E ist die Protonenernegie in kV gemessen.

Das Resultat dieser Division ist in der Figur durch die gestrichelte Kurve wiedergegeben.

Das Maximum der neuen Kurve liegt bei 300 kV. Die Halbwertsbreite wird etwa 150 kV.

Es zeigt sich, daß man die Anregungskurve im Gebiet 150—500 kV sehr gut durch die Formel

$$\sigma = \frac{K}{\sqrt{E}} \cdot \frac{P}{1 + \left(\frac{E - 305}{82}\right)^2}$$

wiedergeben kann.

K ist ein konstanter Faktor.

Eine weitere theoretische Diskussion wird folgen.

Trondheim (Norwegen), Physikalisches Institut der Norwegischen Technischen Hochschule, den 20. März 1940.
N. HOLE. J. HOLTSMARK. R. TANGEN.

[1]) Proc. Roy. Soc. **169**, 269 (1938).
[2]) Siehe BETHE, Rev. Mod. Phys. **9**, 186 (1937).

Besprechungen.

GENTNER, W., H. MAIER-LEIBNITZ und W. BOTHE, **Atlas typischer Nebelkammerbilder mit Einführung in die Wilsonsche Methode.** Berlin: Julius Springer 1940. V, 125 S. 18 Fig. und 125 Aufnahmen. 19 cm × 27 cm. Preis brosch. RM 21.60, geb. RM 25.80.

Es war eine glückliche Idee, gerade im gegenwärtigen Augenblick eine Schrift über die WILSONsche Nebel-

kammer mit erläuterten Nebelkammerbildern herauszubringen. Verdankt doch gerade die Kernphysik, die sich immer noch im Zustande stürmischer Entwicklung befindet, der WILSONschen Methode die wertvollsten Entdeckungen. In der Tat ist die Nebelkammer das einzige Instrument, das mit dem Nachweis elementarer Teilchen auch die Festlegung des Ladungssinnes *und* der Bahnspur verknüpft.

Das Buch gehört zu denen, die man erst aus der Hand legt, wenn man sie von Anfang bis zu Ende durchgelesen hat. Die 42 Seiten des 1. Teiles sind dem Aufbau und dem Zubehör der Wilson-Kammer selbst gewidmet. Gleich die Einführung ist packend, wenn man die Vorgeschichte der Nebelkammer erfährt und dabei wieder einmal die alte Wahrheit bestätigt findet, daß nicht blinder Zufall, sondern jahrzehntelange geduldige Beschäftigung mit einer rein wissenschaftlichen Fragestellung zu einer schönen Entdeckung geführt haben, ohne daß WILSON sich etwa von vornherein die Aufgabe gestellt hätte, eine Vorrichtung zur Sichtbarmachung radioaktiver Teilchen und einzelner Atome zu erfinden.

Im 2. Teil, der 80 Seiten umfaßt, werden ausgewählte Nebelbilder von α- und β-Strahlen, Positronen, Röntgenstrahlen, γ-Strahlen, Neutronen, künstlichen Kernumwandlungen und Höhenstrahlen samt den merkwürdigen Schauererscheinungen wiedergegeben und besprochen. Die Erläuterungen der Bilder sind erschöpfend und doch Muster an Einfachheit, Klarheit und eindringlicher Kürze. Zusammen mit der hervorragend schönen Wiedergabe der Bilder leistet dieses Buch viel mehr, als der Titel erwarten läßt. Wir haben hier eine Einführung in die experimentelle Kernphysik vor uns, die schon lange ein Bedürfnis war und nicht nur den Spezialisten, sondern überhaupt den Physikern aller Richtungen und den physikalisch interessierten Chemikern hochwillkommen sein wird. Sorgfältige und umfassende Literaturangaben werden das Buch besonders denen ganz unentbehrlich machen, die sich in das WILSONsche Nebelkammerverfahren einarbeiten wollen. KLAUS CLUSIUS, München.

KAYSER, H., **Tabelle der Hauptlinien der Linienspektren aller Elemente nach Wellenlänge geordnet.** Zweite Auflage. Neu bearbeitet und herausgegeben von RUDOLF RITSCHL. Berlin: Julius Springer 1939. VIII, 269 S. 17 cm × 25 cm. Preis geb. RM 28.50.

Die erste Auflage der Tabellen von H. KAYSER erschien 1926, gerade in einer Zeit, in der dank der Arbeiten von W. GERLACH u. a. die „chemische Spektralanalyse" einen großen Aufschwung nahm. Diese Tabellen stellten sich als eines der wertvollsten Hilfsmittel für die neue Analysenmethode heraus, und daher war das Buch bereits seit einigen Jahren vergriffen. Von dem inzwischen sehr groß gewordenen Kreis der „Spektral-Analytiker" wird daher die von R. RITSCHL besorgte Neuauflage dankbar begrüßt. Seit dem Erscheinen der ersten Auflage sind neue Messungen vor allem im photographischen Ultrarot und Vakuum-Ultraviolett durchgeführt worden, deren Werte großenteils aufgenommen wurden. Ferner ist in der Zwischenzeit ein sehr wesentlicher Teil der Linien bestimmten Ionisationszuständen der Elemente zugeordnet worden. Die Angaben hierüber sind ebenfalls für den Spektroskopiker sehr wertvoll. Schließlich wird der Benutzer im Laboratorium sehr angenehm empfinden, daß die aus den Werken von DE GRAMMONT, LUNDEGARDH, RUSSELL, GERLACH, RIEDEL und GATTERER als „letzte Linien" für den empfindlichen Nachweis bekannten Spektrallinien besonders gekennzeichnet sind. Die sehr uneinheitliche Bezeichnung der Intensitäten hat der Bearbeiter etwas einheitlicher zu gestalten versucht, so daß nur noch *eine* Rubrik über die Intensität auftritt.

Wie einige Stichproben ergaben, sind auch Wellenlängen, die früher mit Fehlern angegeben waren, nach ihren neu bestimmten Werten berichtigt worden. Daß das Werk auch künftig in der Hand jedes Spektralanalytikers zu finden sein wird und daß jeder Benutzer dem Bearbeiter für die aufopferungsvolle und sorgfältige Zusammenstellung dankbar sein wird, ist sicher. Die Ausstattung des Werkes im Druck und Papier entspricht einem so viel benutzten Werkzeug.

G. SCHEIBE, München.

TRENDELENBURG, REINHARD, **Das Holz als Rohstoff.** Seine Entstehung, stoffliche Beschaffenheit und chemische Verwertung. München und Berlin: J. F. Lehmann 1939. 435 S. und 108 Abbild. 17 cm × 25 cm. Preis geh. RM 18.—, geb. RM 19.60.

Nach einleitenden Abschnitten über Verteilung und Größe des Waldes in Großdeutschland sowie über Holzerzeugung und Holzverbrauch werden Entstehung und Aufbau des Holzes geschildert. Dabei wird auch der Entstehung der Waldbäume im Verlauf der Erdentwicklung und der damit verknüpften Entwicklung der Holzzellen Raum geschenkt. Anschließend wird über Aufgabe und Bedeutung der einzelnen Gewebearten gesprochen, wobei in mehreren Zahlentafeln die Abmessungen der einzelnen Zellenarten und ihre Anteile am Holzkörper nachgewiesen werden. Sowohl vom biologischen als auch vom chemischen Standpunkt aus sind die weiteren Kapitel, die sich immer wieder auf die tief schürfenden eigenen Forschungen des Verfassers stützen, wertvoll. Verholzung und Ligningehalt, Verkernung und Splint, die Unterschiede von Früh- und Spätholz sowie von Druck- und Zugholz werden zusammenhängend besprochen. Der vierte Buchteil ist der Entstehung und dem Aufbau des Stammes gewidmet. Zwanglos schließt sich eine umfangreiche Abhandlung über das Holz als feinporigen Körper an, wobei Raumgewicht, Schwindung, die Feuchtigkeit im Stamm sowie die Vorgänge und Veränderungen im Holz nach der Fällung erörtert werden. Dem Raumgewicht als der wichtigsten stofflichen Eigenschaft des Holzes, von der seine mechanische Güte sowie die Zellstoffausbeute bei der chemischen Verarbeitung in erster Linie abhängen, ist dann noch ein Sonderkapitel gewidmet. Den Abschluß des Werkes bilden gedrängte Ausführungen über die stoffliche Verwertung des Holzes unter Auflösung seines Gefüges. Die außerordentlich sorgfältige wissenschaftliche Arbeit, die TRENDELENBURG geleistet hat, geht auch daraus hervor, daß das Schrifttumsverzeichnis 626 Angaben enthält. Der schwierige Stoff ist erstmals von so hoher Warte aus zusammenhängend behandelt worden. Die biologische Holzforschung hat damit ein grundlegendes Werk erhalten, das im besonderen Maße auch berufen ist, Brücke zwischen der Naturwissenschaft und der Technik zu sein. F. KOLLMANN, Eberswalde.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜFFERT, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.